

# Die Werkzeugstähle und ihre Wärmebehandlung

Berechtigte deutsche Bearbeitung der Schrift:  
„The heat treatment of tool steel“

von

**Harry Brearley**  
Sheffield

Von

**Dr.-Ing. Rudolf Schäfer**

Zweite, durchgearbeitete Auflage

Mit 212 Abbildungen



**Berlin**

Verlag von Julius Springer

1919

ISBN-13:978-3-642-47276-3      e-ISBN-13:978-3-642-47694-5

DOI: 10.1007/978-3-642-47694-5

Softcover reprint of the hardcover 2nd edition 1919

## Vorwort.

Die nachstehenden Ausführungen haben, wie H. Brearley in dem Vorwort zur englischen Ausgabe angibt, den Zweck, geübten und geschickten Werkzeugmachern und Werkführern in der Ausübung ihres Berufes praktische Hinweise zu geben. Aber auch für den Kaufmann, der sich mit dem Vertrieb von Stahlwerkzeugen befaßt und für alle anderen Personen, Betriebsleiter, Werkzeugkonstrukteure und Ingenieure der metallverarbeitenden Industrien, die mit der Beschaffung der für ihren Betrieb geeigneten Stahlwerkzeuge zu tun haben, nicht zuletzt für die Werkzeug- und Stahlfabrikanten selbst, werden die folgenden Ausführungen manche nützlichen Angaben enthalten, die sie bei aufmerksamer Beobachtung befähigen werden, sich leichter über die Eigenschaften eines Stahls zu unterrichten, als es die durch den täglichen Umgang mit Stahlwerkzeugen gebotene Übung vermag.

Nicht selten werden dem Verkäufer von Stahlwerkzeugen Klagen über die geringe Leistungsfähigkeit gewisser von ihm bezogener Werkzeuge vorgebracht, deren Stichhaltigkeit er entscheiden soll, obwohl ihm die Kenntnis der Veränderungen, die der Stahl bei der Wärmebehandlung erleidet, meist nicht geläufig ist.

Beim Stahlgeschäft hält sich vielleicht mehr als bei irgend einem anderen Geschäft der Abnehmer an den Händler oder Stahlfabrikanten, damit er ihm Angaben über Zusammensetzung, Eigenschaften, Verwendungszweck und die geeignete Wärmebehandlung des Stahls macht. Diese handelsübliche Praxis entstand auf ganz natürliche Weise zu einer Zeit, als die zur Verfügung stehenden Mittel zur Untersuchung und Klassierung von Stahlwerkzeugen ausschließlich auf eine Prüfung der Bruchfläche eines Werkzeuges beschränkt blieben. Diese Art der Prüfung entwickelte der Stahlfabrikant bis zu einer mit größter Sicherheit beherrschenden Kunstfertigkeit und zwar lange bevor die analytische Chemie imstande war, die in der Praxis angewendete Bezeichnung „Hartegrad“ eines Stahls durch die Angabe des Prozentsatzes an Kohlenstoff zu ersetzen.

Da es dem Werkzeugverbraucher darauf ankommt, seine abgenutzten Werkzeuge durch solche von gleicher Brauchbarkeit

zu ersetzen, und er am besten die Eigenschaften der ihm vom Werkzeugfabrikanten gelieferten Werkzeuge beurteilen kann, der Werkzeugfabrikant aber wiederum eine große Erfahrung in der Beurteilung des Rohstahls besitzt, so ergaben sich aus den vereinigten Erfahrungen des Werkzeugfabrikanten und des Werkzeugverbrauchers gewisse praktische Vorschriften, nach denen der Stahlfabrikant aus einem beliebigen Ausgangsmaterial stets Rohstahl von gleicher Qualität herzustellen vermochte. Hieraus folgte, daß schließlich der Stahlfabrikant derjenige wurde, bei dem alle praktischen Erfahrungen über Herstellung und Verwendung von Stahlwerkzeugen zusammenkamen, so daß nach der früher herrschenden Anschauung er allein imstande war, ein Urteil über die Mängel eines Stahls und über die Hilfsmittel abzugeben, die zur Beseitigung vorhandener Mängel zweckdienlich waren.

Wenn kleine Stahlblöcke für Werkzeuge auch jetzt noch nach ihrem Bruchaussehen bezüglich ihrer Verwendbarkeit zu gewissen Werkzeugen beurteilt werden, so geschieht dies wohl nur aus Zweckmäßigkeitsgründen, weil auf diese Weise bei genügender Erfahrung der Kohlenstoffgehalt des Stahls ziemlich genau geschätzt werden kann. In allen großen Stahlhütten und Werkzeugfabriken hat man auch diese vielleicht noch hie und da übliche Klassierung der verschiedenen Rohstahlorten aufgegeben und dafür den durch den Kohlenstoffgehalt bedingten Härtegrad gesetzt. Da die durch die chemische Analyse feststellbare Zusammensetzung des Stahls noch dazu unabhängig von denjenigen einseitigen Fehlern ist, die bei der früheren praktischen Beurteilung der Hartegrade vorkommen konnten, so kann nach Kenntnis des Kohlenstoffgehaltes der natürliche Härtegrad einer Stahlstange und ihre Tauglichkeit für irgend ein bestimmtes Werkzeug ganz ebenso zuverlässig von dem Verbraucher wie von dem Fabrikanten bestimmt werden. Der aufmerksame Werkzeugfabrikant wird daher, wenn er durch eine genügende praktische Erfahrung unterstützt wird, ebenso wie der Stahlfabrikant befähigt sein, den ihm entgegretenden Schwierigkeiten bei der Herstellung von Werkzeugen mit Erfolg zu begegnen.

Der endgültige Wert eines Werkzeuges kann ebenso sehr von der Art abhängen, nach welcher es bei seiner Herstellung behandelt wird, als von dem Material, aus dem es gefertigt ist. Die Geschicklichkeit und Intelligenz des Werkzeugschmiedes und Härters spricht in bezug auf die Brauchbarkeit eines Werkzeuges

viel mit. Wenn diese Personen über ein gewisses Maß von praktischen Erfahrungen nicht verfügen, dann werden sie bei Verwendung von hartem, d. h. kohlenstoffreichem Rohstahl immer nur geringwertige Werkzeuge hervorbringen, die leicht reißen, absplittern und überhaupt eine kurze Lebensdauer besitzen. Die Werkzeugfabrikanten sind daher gezwungen, kohlenstoffarmen Rohstahl zu verwenden, der bei der Verarbeitung nicht so leicht durch unsachgemäße Behandlung verdorben werden kann, der aber Werkzeuge liefert, die wegen ihrer schnellen Abnutzung infolge zu geringer Härte auch nicht den Beifall des Werkzeugverbrauchers finden werden.

Wenn auch nicht alle Nachteile, die bei mangelnder praktischer Erfahrung zum Teil auf eine unrichtige Auswahl des Rohstahls, zum Teil auf eine falsche Wärmebehandlung desselben zurückzuführen sind, durch das Studium der folgenden Ausführungen beseitigt werden können, so dienen letztere doch dazu, allen, die sich mit der Werkzeugherstellung befassen, die Mittel anzugeben, mit deren Hilfe viele bei der Verarbeitung des Rohstahls zu Werkzeugen auftretende Mängel erkannt und vermieden werden können. Durch wenig umfangreiche und mit geringen Hilfsmitteln auszuführende Versuche, sowie durch aufmerksame Beobachtung der in den folgenden Kapiteln gegebenen Grundsätze wird auch der weniger praktisch geübte Härter und Werkzeugschmied, insonderheit der Werkzeugfabrikant selbst, imstande sein, sich den geeigneten Rohstahl auszuwählen und die Bearbeitung desselben seinen Eigenschaften anzupassen. Er wird sich dann selbst davon überzeugen, daß das Schicksal seiner Werkzeuge durchaus nicht ganz und gar in den Händen des Stahlfabrikanten liegt und daß nicht alle fehlerhaften und zerbrochenen Werkzeuge schlechtem Rohstahl zugeschrieben werden müssen. Mängel an Werkzeugen sind häufig allein auf die fehlerhafte Wärmebehandlung zurückzuführen und in diesem Falle sind ihre Ursachen ohne Schwierigkeiten auffindbar und genügende Mittel zu ihrer Beseitigung vorhanden.

---

Bei der Bearbeitung des englischen Werkes, das die Erfahrungen einer vieljährigen Praxis enthält, war der Unterzeichnete bestrebt, durch mehrfache Ergänzungen des englischen Textes den von dem Verfasser beabsichtigten Zweck vollkommener durchzuführen. Eine Reihe von Ergebnissen eigener Untersuchungen

sowie eine große Anzahl eigener Beobachtungen sind in dem Buche mitverwertet worden. Aber auch die einheimische Literatur, soweit sie für den Praktiker von Nutzen ist, ist bei der Bearbeitung berücksichtigt worden. Besonderer Wert wurde auf die bildliche Darstellung gelegt, indem an einer großen Reihe von Beispielen dargetan wurde, wie allein durch die Kenntnis der Gefügebeschaffenheit Schlüsse auf das zur Verwendung gelangende Stahlmaterial sowie auf die stattgefundenene Wärmebehandlung gezogen werden können, wie denn überhaupt die Kenntnis des Kleingefüges des Stahls für den Stahl- und Werkzeugfabrikanten ein unentbehrliches Hilfsmittel zur Beurteilung ihrer Arbeit geworden ist.

Um eine bessere Übersicht über den behandelten Stoff zu erzielen, wurde Kapitel V des Originals an Kapitel I als II. Kapitel angeschlossen; die Kapitel X und XI des Originals wurden in das Schlußkapitel der deutschen Ausgabe verlegt. Enthalten die beiden ersten Kapitel hauptsächlich theoretische Betrachtungen über Stahl und behandeln sie die Vorgänge, die beim Härten desselben beobachtet werden, so befassen sich die folgenden Kapitel mehr mit der wärmetechnischen Seite der Werkzeugfabrikation. Unter anderem wurden die Kapitel II und X des Originals wesentlich erweitert, dagegen wurden Kürzungen insbesondere bei dem Kapitel XI vorgenommen. Der Anhang der englischen Ausgabe, der von Schleiffunken und der Geschichte der Stahlhärtung handelt und der ferner eine Reihe von Tabellen enthält, die in jedem technischen Kalender zu finden sind, wurde fortgelassen. Anstatt des noch im Anhang besprochenen Verfahrens zur Bestimmung der Haltepunkte im Eisen und Stahl wurde das Doppelspiegelgalvanometer nach Saladin, mit dem sich bei sachgemäßer Handhabung vorzügliche Ergebnisse erzielen lassen, eingehend im Schlußkapitel der deutschen Bearbeitung beschrieben.

Auch der Einsatzhärtung, die zwar größere Bedeutung für Konstruktionsstähle als für Werkzeugstähle besitzt, ist im Vergleich zum Original ein größerer Raum gewidmet worden. Am Schluß des Werkes findet sich noch eine Zusammenstellung einschlägiger Arbeiten, deren Studium dem Praktiker empfohlen werden kann und deren Ergebnisse in dem vorliegenden Werke zum Teil mitverwertet wurden.

Die Mehrzahl der in der englischen Ausgabe vorhandenen Kleingefügebilder ist wegen der nicht einheitlich gewählten Ver-

größerung durch eigene Aufnahmen ersetzt worden. Die Anzahl der Abbildungen wurde von 73 auf 199 erhöht.

Dem Wunsche des Herrn Brearley, sämtliche vom Unterzeichneten herrührenden Ergänzungen, die dem ursprünglichen Texte organisch angegliedert sind, im einzelnen hervorzuheben, konnte nicht entsprochen werden. Der Unterzeichnete beschränkte sich deshalb darauf, die von ihm gebrachten Abbildungen mit einem Stern (\*) zu versehen.

Herr Brearley hatte die Freundlichkeit, die Korrekturbogen einer Durchsicht zu unterziehen. Für die hierbei gegebenen Ratschläge spricht der Unterzeichnete Herrn Brearley seinen verbindlichsten Dank aus. Ebenso dankt er dem Direktorium der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, Brunnenstraße, Berlin, für die bereitwilligst erteilte Erlaubnis, einen Teil der Ergebnisse der in ihren wissenschaftlichen Abteilungen von dem Unterzeichneten durchgeführten diesbezüglichen Untersuchungen, sowie die zugehörigen Abbildungen für die deutsche Bearbeitung verwenden zu dürfen.

Berlin, im September 1913.

**Dr.-Ing. Rudolf Schäfer.**

## **Vorwort zur zweiten Auflage.**

Die vorliegende Auflage, die im Titel eine kleine Änderung erfahren hat, ist eingehend durchgearbeitet und es wurden verschiedene Verbesserungen und Erweiterungen angebracht, auch wurde die einschlägige Literatur bis auf die heutige Zeit vermerkt. Eine Vermehrung der Abbildungen erwies sich als zweckmäßig. Den Wünschen der Kritik, die sich nach dem Erscheinen der ersten Auflage eingehend äußerte, konnte nur im beschränkten Maße entsprochen werden, da dem Unterzeichneten, der fast seit Kriegsbeginn unter den Fahnen steht, die nötige Muße mangelte. Die Zeit nach dem Kriege soll dazu dienen, das Werk gründlicher und vollkommener, als es bisher geschehen konnte, auszugestalten.

Möge auch diese Auflage allen beteiligten Kreisen Nutzen bringen.

Berlin, im November 1918.

**Schäfer.**

# Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Einteilung und Gefügebesehaffenheit der Stähle . . . . .	1
II. Physikalische Veränderungen im Stahl während des Erhitzens und Abkühlens . . . . .	17
1. Thermische Veränderungen . . . . .	17
2. Veränderungen des Kleingefüges . . . . .	23
3. Veränderungen der Form und des spezifischen Gewichtes .	37
III. Fehler und Bruchaussehen des Rohstahls . . . . .	42
IV. Das Schmieden . . . . .	60
V. Das Ausglühen und Überhitzen . . . . .	67
VI. Das Härten des Stahls . . . . .	75
VII. Das Anlassen und Ausrichten . . . . .	96
VIII. Das Härten typischer Werkzeuge . . . . .	109
IX. Fehlerhafte Werkzeuge . . . . .	120
X. Einsatzhärtung . . . . .	137
XI. Legierte Werkzeugstähle . . . . .	165
XII. Härteanlagen . . . . .	196
1. Öfen . . . . .	196
2. Die Wärmeüberwachung in der Härterei . . . . .	215
3. Die Bestimmung der Haltepunkte im Eisen und Stahl . .	237
Abhandlungen . . . . .	249
Sachverzeichnis . . . . .	255

## I. Einteilung und Gefügebeschaffenheit der Stähle.

Die ausführlichste wissenschaftliche Beantwortung der Frage: „Was ist Stahl?“ bringt dem Werkzeugfabrikanten nur geringen praktischen Nutzen. Er will wissen, welche besonderen Kennzeichen ein zu verarbeitender Rohstahl haben muß, damit sich aus diesem Rohstahl gute Werkzeuge, z. B. Bohrer oder Schrupper, herstellen lassen. Hieraus folgt, daß dem Werkzeugfabrikanten, wenn er gute Werkzeuge liefern will, zunächst bekannt sein muß, durch welche Eigenschaften sich die Rohstähle unterscheiden und an welchen Kennzeichen diese verschiedenen Eigenschaften praktisch festgestellt werden können.

Ferner muß der Werkzeugfabrikant diejenigen physikalischen Veränderungen kennen, die bei einem Stahl vor sich gehen, wenn er erhitzt, abgeschreckt, angelassen, ausgeglüht usw. wird. Sobald er sich mit den Ursachen bekannt gemacht hat, auf welche die physikalischen Veränderungen im Stahl zurückzuführen sind, wird er sich weiter auch mit den Eigenschaften derjenigen Stahlsorten befassen müssen, die man als legierte Stähle, als Sonder- oder Spezialstähle bezeichnet hat und die in neuerer Zeit ein großes Anwendungsgebiet gefunden haben.

Als äußeres Merkmal für gewisse Eigenschaften des Stahls gilt allgemein das Aussehen der Bruchfläche, das sog. Bruchkorn oder kurz das Korn des Stahls. Betrachtet man z. B. die Bruchfläche eines Stahlgußstückes oder irgend eines anderen gegossenen Metallgegenstandes, so fällt gewöhnlich die grobkörnige Art des Bruches, das Grobgefüge, auf, das anscheinend durch regellose Aneinanderlagerung bestimmter geometrischer Formen mit scharfen Kanten und glänzenden Oberflächen gekennzeichnet ist (Abb. 1). Diese Art des Bruchgefüges ist bei jedem Metall oder jeder Metallegierung vorhanden, wenn auch die geometrischen Formen, die die einzelnen Körner der Bruchfläche zeigen, verschieden sein können. Infolge schneller Abkühlung eines Gußstückes oder durch den vom Hammer oder von den Walzen auf

ihn ausgeübten Druck bleibt das Bruchkorn klein und zeigt oft nur sehr undeutlich ausgebildete und mit bloßem Auge kaum zu erkennende geometrische Formen. Bei allen handelsüblichen Stahlsorten findet sich dieses eigentümliche Aussehen des Bruches, und man pflegt häufig die Bruchfläche mit einem Vergrößerungsglas oder Mikroskop zu prüfen, um den Gefügebautbau des Stahls, das sog. Kleingefüge, besser als mit bloßem Auge erkennen zu können.

Da aber ein willkürlicher Bruch eine zu unebene Fläche liefert, die für eine Prüfung mit dem Mikroskop meist ungeeignet

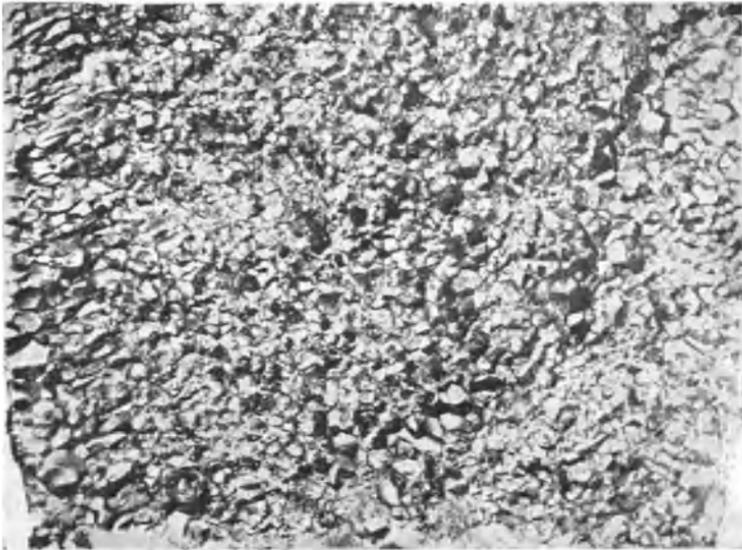


Abb. 1. Bruchfläche von Stahlguß.  $\frac{1}{3}$  nat. Größe.

ist, so pflegt man in neuerer Zeit geschliffene und polierte Stückchen des betreffenden Stahls, sog. Schriffe, mikroskopisch zu untersuchen, indem man durch ein bestimmtes Ätzverfahren das Kleingefüge auf den Schriffflächen bloßlegt.

Als Stahl bezeichnet man eine Legierung von Eisen mit einer begrenzten Menge von Kohlenstoff. Neben Kohlenstoff enthalten aber die verschiedenen Stahlsorten immer kleine Mengen von Silizium, Mangan, Schwefel, Phosphor u. a., die jedoch einen merklichen Einfluß auf das Kleingefüge nicht ausüben. Alle gewöhnlichen Werkzeugstähle sind also Eisen-Kohlenstofflegierungen, und sie werden daher Kohlenstoffstähle genannt

im Gegensatz zu den Spezialstählen (legierten Stählen oder Sonderstählen), die außer Eisen und Kohlenstoff zur Erzielung bestimmter Eigenschaften noch größere Mengen von Mangan, Chrom, Wolfram, Nickel, Molybdän, Vanadium, Silizium oder einem anderen charakteristischen Elemente enthalten. In der Praxis teilt man die Kohlenstoffstähle noch ein in weiche und harte Stähle. In jenen beträgt der Kohlenstoffgehalt gewöhnlich weniger als 0,8%, in diesen mehr als 0,8%. Auch ist die Härtebarkeit bei weichem Stahl, solange der Kohlenstoffgehalt unter

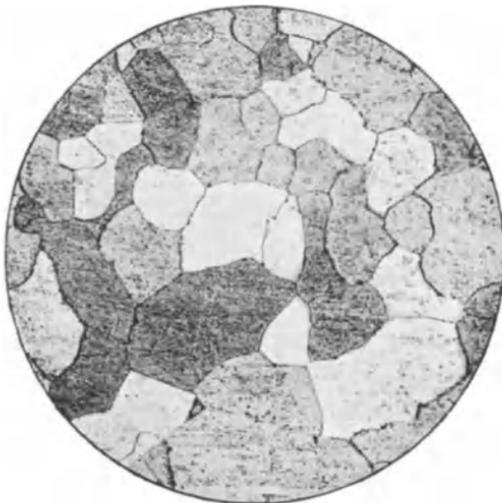


Abb. 2\*. Reines Eisen. Ferrit.  
Vergrößerung = 200.

0,5% bleibt, geringer als bei hartem Stahl. Der höchste Betrag an Kohlenstoff, der bei Werkzeugstählen vorkommt, beläuft sich auf etwa 1,7%<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Eisen-Kohlenstofflegierungen mit weniger als 0,5% Kohlenstoff pflegt man gewöhnlich nicht als Stahl zu bezeichnen, sondern als Eisen. Denn das gesamte schmiedbare Eisen mit einem Höchstgehalt von etwa 1,7% Kohlenstoff wird eingeteilt in Schweißeisen und Flußeisen (mit einem Kohlenstoffgehalt von höchstens 0,5%) und in Schweißstahl und Flußstahl (mit einem Kohlenstoffgehalt von 0,5–1,7%). Die Bezeichnungen Siemens-Martinstahl, Bessemerstahl, Thomasstahl usw. weisen nicht auf den Kohlenstoffgehalt des Stahles hin, sondern auf die Art der Herstellung. Reinstes Stahl ist Gußstahl (neben Elektrostahl), der in Tiegeln erschmolzen wird und der daher auch Tiegelgußstahl (auch Tiegel-

Wenn man unter einem Mikroskop das Haufwerk von kleinen Kristallen (Körnern) auf einem polierten und geätzten Stückchen von reinem Eisen, also einem Eisen ohne Kohlenstoff, sieht (Abb. 2), so drängt sich die Frage auf, wovon die Festigkeit und Widerstandsfähigkeit eines solchen Haufwerks abhängt.

Die Widerstandsfähigkeit eines Haufwerks verwachsener Kristalle gegenüber gleichbleibender oder wechselnder Beanspruchung hängt ab

1. von der Festigkeit des Materials, aus welchem das einzelne Korn besteht, und
2. von der Kohäsion zwischen den einzelnen Körnern.

Bei reinen, also nicht legierten, weichen Metallen ist die Widerstandsfähigkeit des Materials der einzelnen Körner nicht größer als ihre Kohäsion, doch wird die Kohäsion zwischen den einzelnen Körnern gewöhnlich durch ungeeignete Wärmebehandlung oder durch Verunreinigungen vermindert.

Einige Metalle lassen sich mit beschränkten Mengen anderer Elemente legieren, ohne daß dadurch deutlich erkennbare Veränderungen des Kleingefüges, verglichen mit demjenigen des reinen Metalls, entstehen. Eine Silizium-Eisenlegierung mit 3—4% Silizium sieht genau so aus wie das reine Eisen in Abb. 2, höchstens mit der Einschränkung, daß, gleichartige Behandlung vorausgesetzt, die Körner größer sind. Ebenso ist die Gegenwart einer kleinen Menge Chrom im Eisen aus der Form der einzelnen Körner nicht erkennbar, wenn auch das Chrom die Größe der Körner herabsetzt.

Aus den angeführten Beispielen geht hervor, daß gewisse Legierungen des Eisens dasselbe Kleingefüge zeigen wie reines Eisen selbst. In solchen Legierungen kann man daher die Anwesenheit geringer Mengen von Mangan, Silizium, Chrom, Nickel und anderen Elementen durch die mikroskopische Prüfung des Kleingefüges nicht feststellen. Andererseits können Elemente, die mit dem Eisen legiert worden sind, selbst in äußerst geringen Mengen durch die mikroskopische Prüfung des Kleingefüges aufgefunden werden, und es ist daher möglich, bei diesen Legierungen auf mikroskopischem Wege die Gefügeveränderungen zu verfolgen,

---

stahl) genannt wird. Als Ausgangsmaterial wird hierfür ein auf irgend eine andere Weise gewonnener Stahl verwendet. Für erstklassige Werkzeuge wird heute meist nur Gußstahl benutzt. Weniger wertvolle Werkzeuge werden auch aus Siemens-Martinstahl hergestellt.

die in dem Maße vor sich gehen, wie die Mengen der dem Eisen zugefügten Elemente geändert werden.

Die Legierungen des Eisens mit dem Kohlenstoff sind ein besonderes Beispiel dieser Art von Legierungen. Daher kann man mikroskopisch besser und bequemer als auf irgend eine andere Weise feststellen, wie weiches Eisen durch einen allmählichen Zusatz von Kohlenstoff in hartes Eisen, also in Stahl, übergeführt wird. Sogar die Anwesenheit von 0,05% Kohlenstoff in weichem Eisen ist unter dem Mikroskop leicht festzustellen.

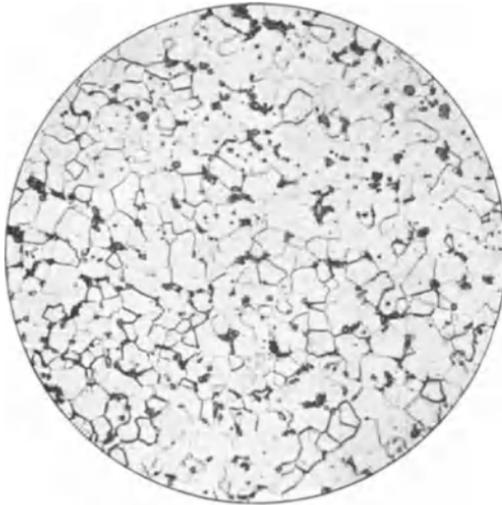


Abb. 3\*. Flußeisen mit 0,05% Kohlenstoff. Ferrit (hell) und Perlit (dunkel).  
V = 200.

Neben den fast gleichmäßig geformten polyedrischen Kristallen, die auch bei dem reinen Eisen auftreten und die alle von fast gleicher Größe sind, erscheint jetzt auf einem geätzten Schliff eine Anzahl dunkler Flächen an der Begrenzung der einzelnen Körner (Abb. 3). Praktisch ist der ganze eingeführte Kohlenstoff von 0,05% auf diese dunklen Stellen beschränkt, während der übrige Teil des Gesichtsfeldes aus demselben reinen Eisen wie in Abb. 2 besteht und welches als Gefügebestandteil unter dem Namen Ferrit bekannt ist. Nach langer Einwirkung eines Ätzmittels (gewöhnlich von alkoholischen Mineralsäuren) auf einen polierten Schliff erscheint die Oberfläche aufgeraut (Ätzfiguren),

sie gibt ein deutliches Bild von der Lagerung der einzelnen Ferritkörner.

Wenn die dunklen Flächen stark vergrößert werden und das Eisen, in dem sie vorhanden sind, von heller Rotglut, etwa  $800^{\circ}\text{C}$ , langsam abgekühlt wird, dann erkennt man meist nur bei sehr starker Vergrößerung ein Gefüge, das aus hellen und dunklen Lamellen besteht, die abwechselnd und parallel zueinander gelagert sind (Abb. 4 u. 18). Ein derartiger Gefügebestandteil tritt bei vielen Metallegierungen auf und man nennt ihn „Eutekti-



Abb. 4\*. Perlit mit wenig Ferrit.  
V = 800.

kum“. Bei Eisen-Kohlenstofflegierungen besteht dieses Eutektikum aus abwechselnd zueinander gelagerten Täfelchen (Lamellen) von Ferrit und Eisenkarbid ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) und wegen seines schönen perlmutterähnlichen Glanzes, der besonders während des Ätzens deutlich sichtbar wird, heißt dieses im Stahl auftretende Eutektikum Perlit (lamellarer Perlit). Daher bestehen alle weichen Stahlsorten, wenn sie nach dem Ätzen mikroskopisch geprüft werden, aus einem Gemenge von Ferrit (hell) und Perlit (dunkel).

Die Größe der Flächen, die von diesen beiden Gefügebestandteilen auf einem Stück eines langsam abgekühlten Stahls eingenommen wird, hängt von der Menge des vorhandenen Kohlenstoffs ab und zwar steigt die Menge des Perlits mit wachsendem



Abb. 5\*. Flußeisen mit 0,13% Kohlenstoff. Ferrit und Perlit  
 $V = 200$ .

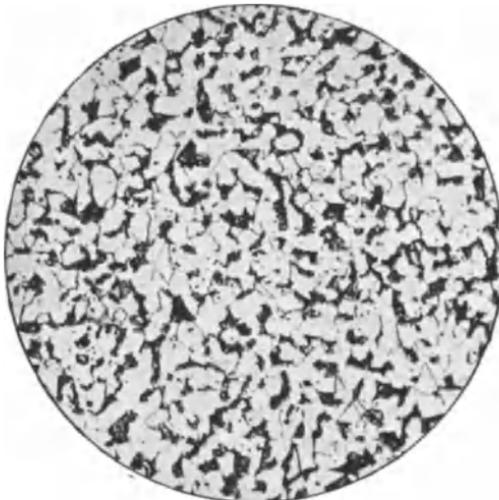


Abb. 6\*. Flußeisen mit 0,25% Kohlenstoff. Ferrit und Perlit.  
 $V = 200$ .

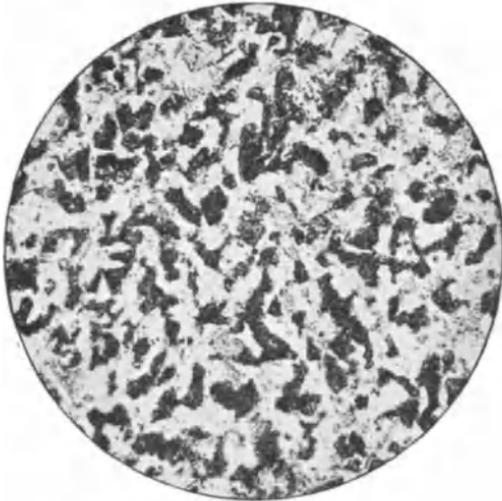


Abb. 7\*. Flußeisen mit 0,41% Kohlenstoff. Ferrit und Perlit.  
 $V = 200$ .

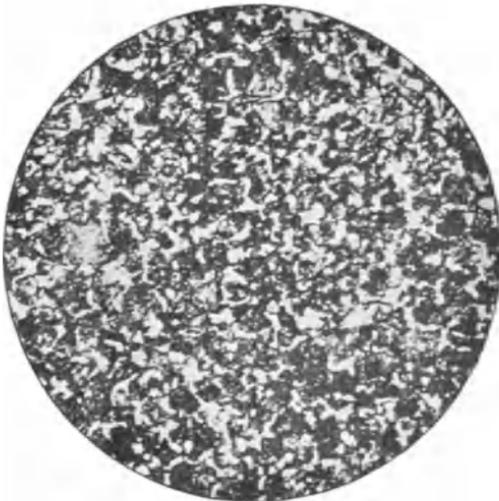


Abb. 8\*. Kohlenstoffstahl mit 0,55% Kohlenstoff. Ferrit und Perlit.  
 $V = 200$ .

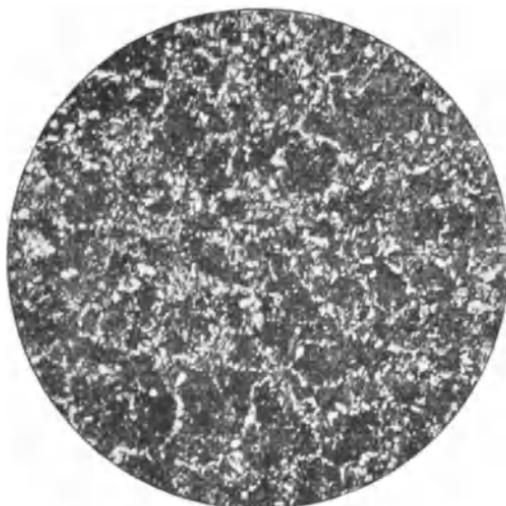


Abb. 9\*. Kohlenstoffstahl mit 0,68% Kohlenstoff. Ferrit und Perlit.  
 $V = 200$ .



Abb. 10\*. Kohlenstoffstahl mit 0,89% Kohlenstoff. Perlit mit wenig Ferrit.  
 $V = 200$ .

Kohlenstoffgehalte. Abb. 5 ist ein charakteristisches Bild eines Eisens, das 0,13% Kohlenstoff enthält. Abb. 6 stellt ein Eisen mit 0,25% Kohlenstoff dar und Abb. 7 zeigt das Aussehen eines Eisens mit 0,41%, Abb. 8 eines Stahls mit 0,55% und Abb. 9 eines Stahls mit 0,68% Kohlenstoff. Abb. 10 endlich gibt das Kleingefüge eines Stahls mit 0,89% Kohlenstoff wieder. Hier sind die dunklen Perlitflächen nur hin und wieder von kleinen Stellen von hellem Ferrit durchsetzt.

Wird der Kohlenstoffgehalt noch weiter erhöht, dann werden die Ferriteinlagerungen immer dünner und zwar in dem Maße, wie der Prozentsatz an Kohlenstoff wächst und schließlich, wenn der Kohlenstoff bis auf 1% (genauer 0,95%) gestiegen ist, verschwindet der freie Ferrit, d. h. er wird gänzlich durch den Kohlenstoff in Perlit übergeführt (Abb. 11).

Der Zustand in einer Eisen-Kohlenstofflegierung, bei welchem freier Ferrit zu bestehen aufhört, in dem also nur das Eutektikum, der Perlit, auftritt, ist, wie später gezeigt werden soll, von besonderem Wert für den Werkzeugfabrikanten und von großer Bedeutung für den Stahlhärter.

Alle Stähle mit etwa 1% Kohlenstoff heißen eutektische Stähle, Stähle mit weniger als 1% Kohlenstoff untereutektische Stähle, Stähle mit mehr als 1% Kohlenstoff übereutektische Stähle.

Wenn bei 1% Kohlenstoff das gesamte kohlenstofffreie Eisen, der Ferrit, noch gerade ausreicht, um durch abwechselnde Lagerung mit Eisenkarbid den Perlit zu ergeben, dann kann das Kleingefüge eines Stahls mit mehr als 1% Kohlenstoff nicht mehr ausschließlich aus Perlit bestehen. Tatsächlich veranlaßt mehr als 1% Kohlenstoff die Bildung eines neuen Gefügebestandteiles, der entweder die Perlitkörner netzförmig umgibt (Abb. 12) oder der in vereinzelt auftritt (Abb. 13 und 14). Dieser Bestandteil führt den Namen Zementit und ist in Eisen-Kohlenstofflegierungen mit weniger als 1% Kohlenstoff gleichbedeutend mit jenen Täfelchen von Eisenkarbid, die in abwechselnden Schichten mit reinem Eisen, dem Ferrit, auftreten, um Perlit zu bilden. Ferner ist es gleichgültig, wieviel Kohlenstoff dem Stahl zugefügt wird, denn es bildet sich immer dasselbe Eisenkarbid  $\text{Fe}_3\text{C}$ . Solange indessen kohlenstofffreies Eisen (Ferrit) vorhanden ist, lagert sich das Karbid abwechselnd, also paarweise mit dem Eisen. Wenn dagegen kohlenstofffreies Eisen (Ferrit)

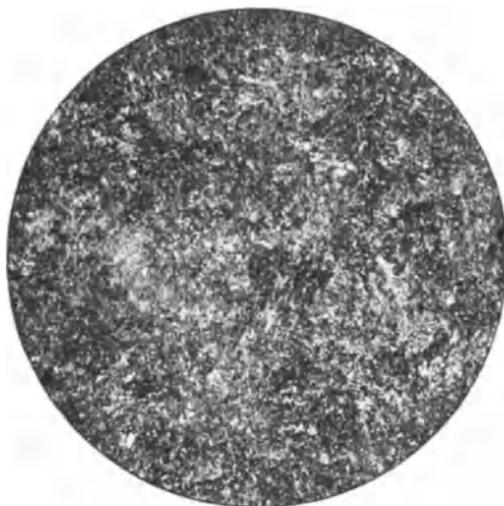


Abb. 11\*. Kohlenstoffstahl mit 0,98% Kohlenstoff. Perlit.  
V = 200.

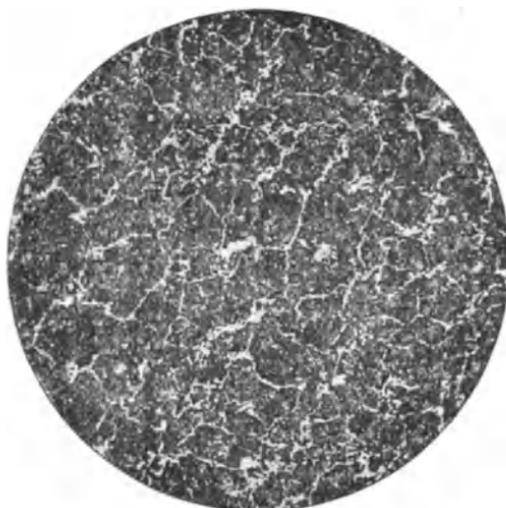


Abb. 12\*. Kohlenstoffstahl mit 1,23% Kohlenstoff. Perlit und Zementit  
(netzförmig).  
V = 200.



Abb. 13\*. Kohlenstoffstahl mit tafelförmigen Zementiteinlagerungen.  
V = 400.



Abb. 14\*. Kohlenstoffstahl mit 1,54% Kohlenstoff. Perlit und Zementit.  
V = 200.



Abb. 15\*. Wie Abb. 12. Mit heißer Natriumpikratlösung geätzt. Der netzförmige Zementit ist dunkel gefärbt.  
V = 200.



Abb. 16\*. Überhitzter eutektischer Kohlenstoffstahl mit heißer Natriumpikratlösung geätzt. Der Zementit des Perlits ist dunkel gefärbt.  
V = 200.

nicht mehr zugegen ist, so herrscht das Karbid allein vor, und es ist in einer um so größeren Menge vorhanden, je mehr der Prozentsatz an Kohlenstoff wächst. Für ein geübtes Auge ist es daher nicht schwer, auch ohne chemische Analyse allein aus dem Kleingefüge des Stahls auf die ungefähre Höhe des Kohlenstoffgehaltes zu schließen.

Aus dem Vorhergehenden ist ersichtlich, daß der Kohlenstoff bei seiner Einführung in das weiche Eisen zur Erzeugung von Stahl die Eigenschaften des Eisens dadurch ändert, daß er in demselben einen neuen und deutlich ausgeprägten Gefügebestandteil bildet, eben jenes Eisenkarbid. Dieses Karbid ist außerordentlich spröde und hart und noch härter als gehärteter Werkzeugstahl selbst. Das Karbid ist sehr fein verteilt und innig mit dem Eisen vermischt, wenigstens so lange, als die Menge des Kohlenstoffs 1% nicht überschreitet.

Zur besseren Erkennung des Zementits in Kohlenstoffstählen pflegt man den polierten Schliff mit einer wässrigen heißen Lösung von Natriumpikrat zu ätzen. Durch dieses Ätzmittel wird nur der Zementit angegriffen, er färbt sich nach längerer Einwirkung des Ätzmittels schwarz, während der Ferrit hell bleibt. In Abb. 15 sieht man den schwarzen netzförmigen Zementit, welcher die kaum gefärbten Perlitkörner einschließt, während in Abb. 16 nur der grobe Zementit des Perlits eines starküberhitzten eutektischen Kohlenstoffstahles die schwarze Färbung angenommen hat.

Nach diesen Betrachtungen und bei aufmerksamer Beobachtung der Abb. 2—11 ist es einleuchtend, daß die natürliche Harte des Stahls, die auf das Vorhandensein des Eisenkarbids zurückzuführen ist, zunehmen wird, wenn der Perlit einen größeren Teil des Materials einnimmt. Es ist ebenfalls klar, daß die Zähigkeit des Stahls in dem Maße abnehmen wird, wie die Ferritkörner, die aus weichem, dehnbarem Eisen bestehen, geringer werden. Aber die Zähigkeit kann immer noch beträchtlich sein, solange jedes kleine Täfelchen von hartem Zementit zwischen zwei Täfelchen von weichem Ferrit eingelagert ist, solange also die Menge des Kohlenstoffs noch unter 1% liegt.

Beträgt in einem Stahl der Kohlenstoffgehalt mehr als 1%, dann trennt der in Form eines Netzwerks oder in Täfelchen auftretende Zementit die Perlitkörner vollständig voneinander, die natürliche Härte des Stahls nimmt also zu, während die Zähigkeit abnimmt. Für die Praxis der Werkzeugfabrikation

ergibt sich hieraus die wichtige Folgerung, daß Stahl mit freiem Zementit spröde Werkzeuge liefert und daher nur beschränkt anwendbar ist. Bei Schneidwerkzeugen, die keinen heftigen oder plötzlichen Stößen ausgesetzt sind, wie z. B. bei Drehwerkzeugen, Rasiermessern, Sensen usw. ist das Vorhandensein von freiem Zementit, der auch bei normaler Härtung nicht verschwindet, nicht gefährlich. Wenn aber Hämmer, Schrotmeißel oder ähnliche Werkzeuge aus Stahl mit reichlichem Zementit gefertigt worden sind, so zerbrechen sie bald in Richtung der spröden Zementiteinlagerungen, worauf später noch zurückgekommen werden soll. Für solche Werkzeuge, die bei einer groben Handhabung standhalten und zugleich eine harte Schneide besitzen müssen, wie z. B. Meißel, muß aus leicht begreiflichen Gründen ein Stahl ausgewählt werden, der wenig oder keinen freien Zementit enthält, dagegen müssen die Werkzeuge, plötzlichen Stößen oder Schlägen ausgesetzt sind, bei denen es also nur auf eine große Zähigkeit ankommt, aus Stählen hergestellt werden, die keinen freien Zementit, dagegen nur Perlit oder Perlit und Ferrit enthalten.

Es steht also fest, daß die Leistungsfähigkeit eines Werkzeuges bis zu einem gewissen Grade von der Art des verwendeten Stahls abhängt. Daher ist es leicht zu verstehen, warum der Stahlfabrikant gewöhnlich vom Käufer verlangt, den Zweck anzugeben, für welchen der zu liefernde Stahl benutzt werden soll. Kennt der Stahlfabrikant den Verwendungszweck des von ihm gelieferten Rohstahls nicht, und weiß der Werkzeugfabrikant aus dem Gefüge des Bruches usw. die Brauchbarkeit des gekauften Stahls für die aus ihm zu fertigen Werkzeuge nicht richtig zu beurteilen, dann gelingt auch die Herstellung brauchbarer Werkzeuge nicht. Die Schuld für diesen Mißerfolg wird in den meisten Fällen mit Unrecht dem Lieferanten des Stahls zugeschrieben. Um eine solche unrichtige Beschuldigung zu vermeiden, ist es allgemein üblich geworden, durch Farbenanstrich, Aufschrift oder Marke den Zweck anzugeben, für welchen irgend eine einzelne Stahlstange mit Erfolg verwendet werden kann. Die Zusammenstellung auf S. 16 läßt neben dem Verwendungszweck den ungefähren Gehalt an Kohlenstoff, den die betreffenden Rohstahlsorten (Gußstahl) haben müssen, erkennen<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Vergl. Mars: „Die Spezialstähle“. Stuttgart 1912, S. 188; ferner Reiser: „Das Härten des Stahls“. Leipzig 1908, S. 38 und Thallner: „Werkzeugstahl“. Freiberg 1904, S. 11.

Die Kohlenstoffstähle werden gewöhnlich nach ihrer Härte eingeteilt. Die Bezeichnung „Härte“ wird von dem Stahlfabrikanten gebraucht, um den natürlichen Härtegrad, die sog. Naturhärte, zu bezeichnen, die durch Zuführung von mehr oder weniger Kohlenstoff geregelt werden kann.

Die Naturhärte kann außer durch Kohlenstoff auch durch Hinzufügung von Mangan, Chrom, Wolfram u. a. verändert werden, jedoch hatte das Wort, ehe man eine Vorstellung von dem Werte dieser Beimengungen besaß, einen bestimmten Sinn erlangt, der noch für Kohlenstoff-Werkzeugstähle beibehalten worden ist, die selten mehr als 0,4—0,6% an Verunreinigungen (Silizium, Mangan, Schwefel, Phosphor u. a.) enthalten.

Neben der Härte muß der Werkzeugfabrikant auch Wert auf die Qualität des Rohstahls legen. Ein Stahl von guter Qualität soll keine Beimengungen schädlicher Elemente enthalten, was durch Auswahl reiner Ausgangsmaterialien erzielt wird. Seitdem man jedoch die Festigkeit und Härte des Stahls durch Hinzufügung nützlicher Bestandteile ebenso wie durch Beseitigung schädlicher Verunreinigungen günstig beeinflußt hat, hat das Wort „Qualität“ nicht mehr so wesentliche Bedeutung bei dem Einkauf von Stahl, wie in früherer Zeit.

Verwendungszweck	Kohlenstoffgehalt %
Sensen, Maschinenteile, Besteckstanzen, Schmiede- und Schellhämmer . . . . .	0,60—0,70
Gesenke, Warmmatrizen . . . . .	0,70—0,80
Schrotmeißel, Schermesser, Lochstempel, Nadeln, Holzbearbeitungswerkzeuge, Gruben- und Steinbohrer, Hämmer für Kesselschmiede, Kreissägen . . . . .	0,80—0,90
Alle Arten Bohrer, Hand- und Preßluftmeißel, Körner, Stempel, Berggezähe, Hobeisen . . . . .	0,90—1,05
Gewindschneidbacken, Reibahlen, Spiralbohrer, Prägestempel, Schnitte . . . . .	1,05—1,15
Bohrer, Feilhauermeißel, Feilen, Lochstempel, Drehmesser, Hobel-, Kerb- und Spaltwerkzeuge. . . . .	1,15—1,25
Mühlpicken, Kronhämmer, Papier- und Tabakmesser, Gravurwerkzeuge, ärztliche Messer. . . . .	1,25—1,35
Drehmesser, Gesteinsbohrer, Steinbearbeitungswerkzeuge . . . . .	1,35—1,45
Drehmesser, Rasiermesser, Fräser, Drehwerkzeuge zum Abdrehen harter Walzen, Gewehrspiralbohrer . . . . .	1,45—1,60

## II. Physikalische Veränderungen im Stahl während des Erhitzens und Abkühlens.

Zum besseren Verständnis der Härtungsvorgänge ist es notwendig, zunächst die physikalischen Veränderungen kennen zu lernen, die vor sich gehen, wenn ein Stück Stahl erhitzt und abgekühlt wird.

### 1. Thermische Veränderungen.

Es ist eine bekannte Tatsache, daß Schnee oder Eis flüssig werden, wenn Kochsalz darüber gestreut wird. Wenn aber eine Mischung von Schnee und Kochsalz, die 23,5% Kochsalz enthält, bei einer Temperatur von  $-30^{\circ}\text{C}$  hergestellt wird, so bleibt sie fest. Wird die bei  $-30^{\circ}\text{C}$  feste Mischung bis auf  $-22^{\circ}\text{C}$  erwärmt, so werden Salz und Schnee anfangen, einander zu durchdringen, um bei weiterer Erwärmung zuerst feucht und dann flüssig zu werden. Bei einer wärmeren Temperatur als  $-22^{\circ}\text{C}$  bleibt die Mischung flüssig, bei einer kälteren als  $-22^{\circ}\text{C}$  wird sie wieder vollständig fest werden und aus getrennten Teilchen von Eis und Salz bestehen, die dicht nebeneinander gelagert sind. Bei  $-22^{\circ}\text{C}$  befindet sich das Gemisch in einem Grenzzustande, es ist weder ganz flüssig noch ganz fest, und es ist, um das Gemisch aus dem einen Zustand in den anderen überzuführen, nötig, daß Wärme hinzugefügt oder fortgenommen wird.

Dieselbe Beobachtung macht man bei der Prüfung einer Mischung von Blei und Antimon. In reinem Zustande schmilzt Blei bei  $327^{\circ}\text{C}$  und Antimon bei  $631^{\circ}\text{C}$ . Wenn man eine Mischung aus sehr feinen Feilspänen herstellt, die 13 Teile Antimon und 87 Teile Blei enthält, diese zu einem festen Stück zusammenpreßt und sie wieder in feine Feilspäne verwandelt, so wird man eine



Abb. 17\*. Blei-Antimon-Eutektikum. Blei (dunkel) und Antimon (hell).  
V = 300.

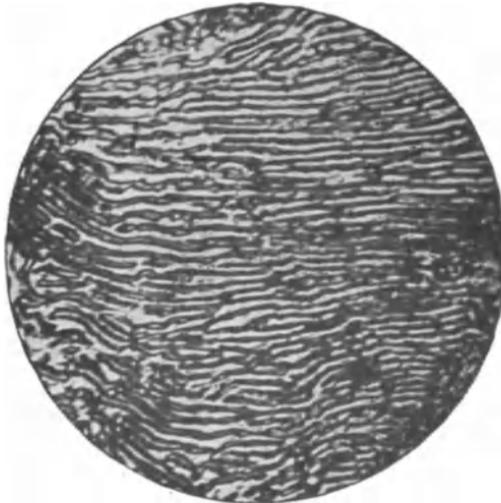


Abb. 18\*. Eisen-Eisenkarbid-Eutektikum. Perlit.  
V = 800.

innige Mischung von Blei- und Antimonteilchen erhalten. Wenn die Blei- und Antimonteilchen wieder zusammengepreßt und erhitzt werden, dann schmelzen sie zu einer vollkommen gleichartigen Flüssigkeit bei etwa  $245^{\circ}\text{C}$ , also bei einer Temperatur, die bedeutend unter dem Schmelzpunkt sowohl des Bleies als auch des Antimons liegt. In der geschmolzenen Mischung ist keines der beiden Metalle für sich erkennbar, aber in festem Zustande wird die Mischung, so oft sie auch immer geschmolzen gewesen ist, aus Teilchen oder Täfelchen von Blei bestehen, die abwechselnd mit Teilchen oder Täfelchen von Antimon gelagert sind (Abb. 17), es wird also ein Eutektikum (eutektisches Gemisch) von Blei und Antimon vorhanden sein. Die Temperatur von  $245^{\circ}\text{C}$ , bei welcher die Mischung während des Abkühlens anfängt, fest zu werden, ändert sich nicht, bis die Masse vollständig fest geworden ist. Auch kann die Temperatur der Masse nicht sinken, ehe dieser Punkt erreicht ist, wobei es gleichgültig ist, ob die Umgebung mehr oder weniger kalt ist. Bringt man in die auf etwa  $300^{\circ}\text{C}$  erhitzte Blei-Antimonmischung ein Thermometer und

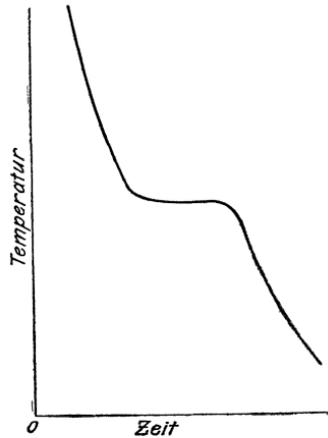


Abb. 19 Abkühlungskurve eines eutektischen Gemisches.

läßt die Mischung abkühlen, so beobachtet man ein beständiges und gleichmäßiges Fallen des Quecksilberfadens, bis die Temperatur von  $245^{\circ}\text{C}$  erreicht ist. Alsdann wird der Abkühlungsvorgang gehemmt und das Thermometer zeigt ständig die Temperatur an, bei welcher die Umwandlung aus dem flüssigen in den festen Zustand vor sich geht, und erst nach vollständiger Beendigung der Erstarrung wird der Quecksilberfaden des Thermometers weiter fallen. Dieser Abkühlungsprozeß ist graphisch durch die Kurve in Abb. 19 dargestellt.

Das thermische Verhalten eines Stückes Werkzeugstahl mit 1% Kohlenstoff ist dem Salz-Schnee- und Antimon-Blei-Gemisch außerordentlich ähnlich, nur daß die Umwandlungen beim Stahl in festem Zustande vor sich gehen, der Stahl also nicht geschmolzen zu sein braucht. Das Gefüge dieses Stahls

bei gewöhnlicher Temperatur ist demjenigen der Blei-Antimonlegierung sehr ähnlich (vgl. Abb. 17 und 18), und die Gefügeveränderungen, die beim Erhitzen dieses Stahls vor sich gehen, bestehen darin, daß die abwechselnd gelagerten Ferrit- und Zementitförmchen (Perlit) einander durchdringen, also eine sog. feste Lösung ergeben. Zur Bildung dieser festen Lösung wird ebenso wie beim Schmelzen der Blei-Antimonlegierung Wärme gebunden, die beim Abkühlen des Stahls, also bei der Rückbildung des Perlits, wieder frei wird.

Unter Berücksichtigung der bei der Umwandlung der Gefügebestandteile des Stahls auftretenden Wärmebindung oder Wärmeabgabe ist man imstande, mit Hilfe einer geeigneten Vorrichtung zur genauen Messung der Temperatur eine Art von thermischer Analyse durchzuführen, d. h. die Gefügeveränderungen festzustellen, die beim Erhitzen oder Abkühlen des Stahls auftreten. Wenn man z. B. einen Stahl mit 1% Kohlenstoff, dessen Kleingefüge nur aus Perlit besteht (Abb. 11 und 18), in einen Ofen bringt, dessen Temperatur um etwa einen Grad in der Sekunde steigert, dann steigt auch die Temperatur des Stahls um den gleichen Betrag. Durch eine gerade Linie kann man daher die Erhöhung der Temperatur sowohl des Stahls als auch des Ofens darstellen, in dem der Stahl erhitzt wird. Aber bei ungefähr  $720^{\circ}\text{C}$  beginnt eine Periode von vielen Sekunden, während welcher die Temperatur des Stahls selbst nicht steigt, obgleich der Ofen heißer wird. Während dieser Periode gehen die Bestandteile des Perlits, der Ferrit und der Zementit, ineinander über, d. h. sie lösen sich ineinander auf und verbrauchen bei diesem Prozesse eine gewisse Wärmemenge, ebenso wie Salz eine Wärmebindung hervorruft und ein Kältegemisch erzeugt, wenn es sich in Schnee auflöst. Sobald durch diesen Vorgang die vom Ofen zugeführte Wärme nicht mehr verschluckt wird, steigt die Temperatur des Stahls, bis die Ofentemperatur erreicht ist. Der ganze Vorgang kann durch die Linie ACM (Abb. 20) dargestellt werden, die einen Knick bei C besitzt. Es ist nicht schwer, mit Hilfe eines empfindlichen und passend aufgestellten Wärmemeßgerätes die Erwärmung eines Stückchens Stahl in der erwähnten Weise zu verfolgen und die Temperatur festzustellen, bei welcher der Punkt oder die Periode C erreicht ist. Ihr Erscheinen fällt natürlich mit Gefügeveränderungen zusammen, die im nächsten Abschnitt besprochen werden sollen und die statt-

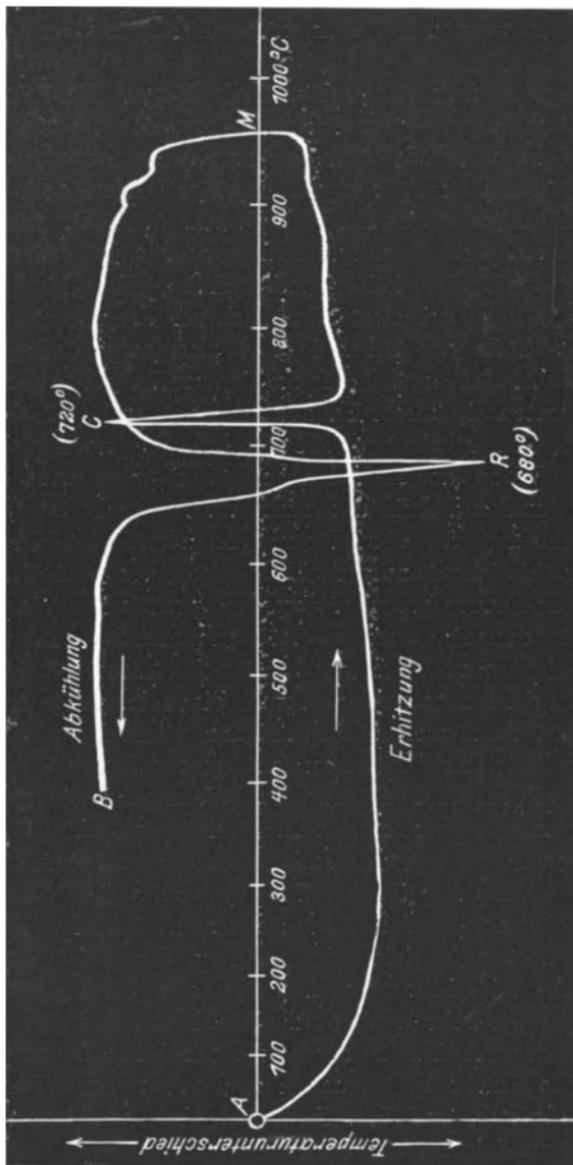


Abb. 20\*. Haltepunktcurve eines eutektischen Kohlenstoffstahls, aufgenommen mit dem Doppelspiegelgalvanometer nach Saladin (s. S. 247).

gefunden haben müssen, um die Härtung des Stahls zu ermöglichen, d. h. also nur dann, wenn ein Stück Stahl über die Temperatur C erhitzt worden ist, kann es durch Abschrecken gehärtet werden.

Das Eintreten der Periode C und die hiermit Hand in Hand gehende Wärmebindung kann leicht in folgender Weise erkannt werden. In ein Schmiedefeuer, das herabgebrannt ist, oder in eine beliebige andere möglichst gleichmäßige Wärmequelle bringe man ein keilförmiges Stück Stahl, z. B. einen Meißel. Nachdem die Schneide des Meißels rotglühend geworden ist, wird seine äußerste Kante plötzlich kälter und dunkler. Das hierbei auftretende dunkle Band schreitet allmählich von der scharfen Kante zum dickeren Teile der Schneide fort und zeigt dadurch die Stelle an dem Meißel an, bei der die Umwandlung vor sich geht. Letztere ist unterhalb dieses Bandes vollendet, während sie oberhalb desselben (im stärkeren Teile des Meißels), noch nicht begonnen hat. Wenn der Meißel abgeschreckt wird, wird er nur bis zu dem dunklen Bande und nicht darüber gehärtet werden. Diese Tatsache hat für das Härten von Meißeln, Mühlpicken, Äxten und zahlreichen anderen Werkzeugen, die vom Schmied, Müller oder Holzhauer gebraucht werden, praktischen Wert, also in Kreisen, in denen Wärmemeßgeräte unbekannt sind. Handwerker, die nicht wissen, um was es sich bei dieser Erscheinung handelt, sehen das Auftreten derselben als eine selbsttätige Anzeigevorrichtung an, durch welche sie erkennen, wann der gewünschte Wärmezustand für das Härten erreicht worden ist.

Kehren wir zur Abb. 20 zurück. Wenn man ein erhitztes Stück Stahl, anstatt es abzuschrecken, allmählich abkühlt, etwa um einen Grad in der Sekunde, so beobachtet man bei einer Temperatur von etwa  $680^{\circ}$  C eine Periode von vielen Sekunden, während welcher der Stahl sich durchaus nicht abkühlt. Er kann sogar heißer werden, obgleich sich während dieser Zeit der Ofen abkühlt. Beim Abkühlungsprozeß treten also die umgekehrten Veränderungen wie beim Erhitzen des Stahls ein, und daher kann der Vorgang des Abkühlens durch die Linie MRB dargestellt werden. Beide Knicke bei R und C sind von hoher Wichtigkeit für den Stahlhärter, und ihre Bedeutung ist, wie schon oben angedeutet, kurz folgende:

Ein Stück Stahl muß, um durch Abschrecken gehärtet zu werden, einige Zeit bei einer Temperatur

über C ( $720^{\circ}$  C) erhitzt werden. Der so erhitzte Stahl wird auch dann noch gehärtet, wenn er sich vor dem Abschrecken bis auf etwas über R ( $680^{\circ}$  C) abgekühlt hat. Bei einer Temperatur unter R ( $680^{\circ}$  C) tritt eine Härtung des Stahls durch Abschrecken nicht ein.

Die Punkte C (Kaleszenzpunkt) und R (Rekaleszenzpunkt) sind als kritische Punkte, kritische Temperaturen oder Umwandlungspunkte, auch als Haltepunkte, bekannt. Ihre Lage ändert sich bei den gewöhnlichen Arten der Werkzeugstähle nicht viel, obgleich der Kohlenstoffgehalt zwischen 0,6 und 1,7% schwanken kann<sup>1)</sup>. Dagegen verschieben sie sich, wenn Chrom, Wolfram, Nickel oder andere Elemente dem Stahl zugefügt worden sind.

Da Geräte zur Aufnahme thermischer Kurven (Haltepunktsskurven, Erhitzungs- und Abkühlungskurven) eine wünschenswerte Beigabe zur Ausstattung einer gut eingerichteten Härtungsanlage sind, so ist im letzten Kapitel eine zweckmäßige Vorrichtung zur Aufnahme von Haltepunktsskurven eingehend beschrieben worden (S. 237).

## 2. Veränderungen des Kleingefüges.

Die Veränderungen, welche beim Erhitzen des Stahls stattfinden, können am leichtesten an einem Stück Werkzeugstahl mit 1% Kohlenstoff verfolgt werden, dessen Kleingefüge in den Abb. 11 und 18 dargestellt ist.

Wenn ein Stück von diesem Stahl auf irgend eine Temperatur unter  $680^{\circ}$  C erhitzt und in kaltem Wasser abgeschreckt wird, dann wird es nicht hart werden und auch sein Gefüge nicht verändern, es wird nur aus Perlit bestehen. Wenn es jedoch auf  $750^{\circ}$  C erhitzt und dann abgeschreckt wird, d. h. wenn der Stahl mit Gewalt daran gehindert wird, durch langsames Abkühlen in seinen ursprünglichen Zustand zurückzukehren, so erlangt er eine große Härte: der Stahl ist gehärtet. Wenn man jetzt das abgeschreckte Stahlstück schleift und poliert und es mit einem geeigneten Ätzmittel, etwa alkoholischer Salpetersäure, behandelt,

---

<sup>1)</sup> Alle Eisensorten mit weniger als 0,6% Kohlenstoff haben mehrere Haltepunkte. Bei einem Eisen mit etwa 0,16% Kohlenstoff liegt der oberste Haltepunkt bei ungefähr  $845^{\circ}$  C.

so findet man unter dem Mikroskop, daß das perlitische Gefüge vollständig verschwunden ist. Man sieht ein Gefüge, welches aus sich kreuzenden Nadeln besteht, während der Perlit bekanntlich parallel zueinander verlaufende Lamellen zeigt. Der Zustand, in dem sich der Stahl nach dem plötzlichen Abkühlen befindet, heißt martensitischer Zustand, das Gefüge, das in Kohlenstoffstählen nach dem Abschrecken auftritt, heißt Martensit. Abb. 21 stellt das Gefüge eines gehärteten Werkzeugstahls mit 1% Kohlenstoff dar. Der Unterschied zwischen dem Gefüge des abgeschreckten Stahls und dem Gefüge des normalen, ausgeglühten Stahls in Abb. 11 ist leicht erkennbar. Mitunter ist der Martensit so feinkörnig, besonders wenn der Stahl, wie in diesem Falle, nur wenige Grade oberhalb  $720^{\circ}\text{C}$  abgeschreckt wurde, daß der nadelige Aufbau des Kleingefüges unter dem Mikroskop nur bei sehr starker Vergrößerung erkannt werden kann.

Betrachten wir ferner einen weichen Stahl, der nur 0,35% Kohlenstoff enthält und dessen Kleingefüge die Abb. 22 zur Anschauung bringt. Es ist ein Stahl mit besonders grobem Gefüge gewählt worden, um die Gefügeveränderungen besser verfolgen zu können. Schreckt man diesen Stahl unter  $680^{\circ}\text{C}$  ab, so kann auch hier eine Härtung nicht eintreten, die aber beim Abschrecken des Stahls bei  $750^{\circ}\text{C}$  deutlich wahrnehmbar ist. Allerdings ist in diesem Falle die Härtung nicht durchgehend, denn man erkennt unter dem Mikroskop, daß der polierte und geätzte Stahl noch aus hellen und dunkleren Flächen besteht (Abb. 23). Wenn man die hellen Flächen mit einer gehärteten feinen Nadelspitze prüft, so findet man, daß sie trotz der Abschreckungstemperatur von  $750^{\circ}\text{C}$  noch weich geblieben sind. Die dunkleren Flächen dagegen lassen sich nicht von der Nadel ritzen, sondern werden die Spitze der Nadel umbiegen, sie bestehen also aus dem Gefüge, das den Namen Martensit führt, während die hellen Flächen unveränderten Ferrit darstellen. Das einfachste Mittel, den Unterschied in der Härte dieser beiden Gefügebestandteile zu erkennen, besteht also darin, daß man die geätzte Oberfläche des Probestückes mit einer gehärteten Nadelspitze ritzt und man wird dann finden, daß die dunklen Flächen (Martensit) unverändert bleiben, während die hellen Flächen (Ferrit) tief gefurcht sind.

Beim Vergleich des Gefüges des Stahls in Abb. 22 und 23 beobachtet man, daß die dunklen Flächen nach dem Abschrecken ungefähr denselben Platz im Gesichtsfelde einnehmen wie vorher.



Abb. 21\*. Werkzeugstahl mit 1% Kohlenstoff bei 740° C in Wasser abgeschreckt. Feinkörniger Martensit.  
V = 200.



Abb. 22\*. Weicher Stahl mit 0,35% Kohlenstoff. Ferrit und Perlit.  
V = 200.

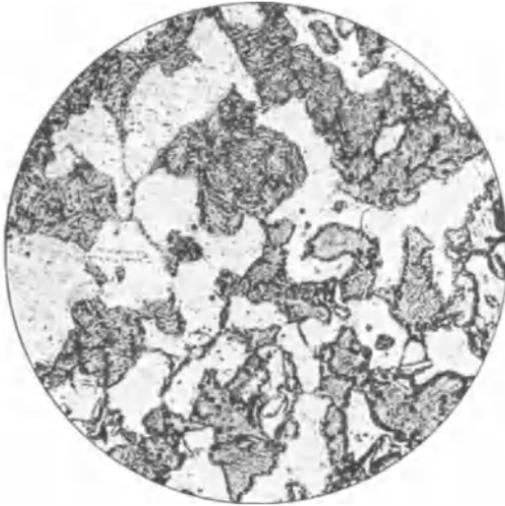


Abb. 23\*. Weicher Stahl mit 0,35% Kohlenstoff bei 750° C in Wasser abgeschreckt. Ferrit und Martensit.  
V = 200.



Abb. 24\*. Weicher Stahl mit 0.35% Kohlenstoff bei 800° C in Wasser abgeschreckt. Martensit mit wenig Ferrit.  
V = 200.

Wenn man aber das Probestück, anstatt es nur einige Minuten bei  $750^{\circ}\text{C}$  zu belassen, dieser Temperatur eine längere Zeit aussetzt oder wenn ohne Änderung der Zeit die Temperatur wesentlich über  $750^{\circ}\text{C}$  erhöht wird, dann tritt eine fortschreitende Vermischung (Lösung) des Ferrits und Perlits ein, und schließlich wird die Vermischung bei einer noch höheren Temperatur fast vollständig sein, wie aus Fig. 24 hervorgeht. Eine wesentlich über  $750^{\circ}\text{C}$  vorgenommene Erhitzung des Stahls bewirkt, daß Ferrit und Perlit vollständig in Martensit übergehen. Aus dem



Abb. 25\*. Stahl mit 0,64% Kohlenstoff bei  $740^{\circ}\text{C}$  in Wasser abgeschreckt.  
Martensit, wenig Perlit.  
V = 200.

in Abb. 25 zur Anschauung gebrachten Gefüge eines bei  $740^{\circ}\text{C}$  abgeschreckten Stahls mit 0,64% Kohlenstoff geht ebenfalls hervor, daß bei dieser Temperatur die Umwandlung in Martensit noch nicht vollständig gewesen ist.

Die Eigenschaft, durch Erhitzen und nachfolgendes Abschrecken hart zu werden, geht also bei einem Stahl mit 0,35% Kohlenstoff, wie überhaupt bei jedem Stahl mit weniger als 1% Kohlenstoff, in zwei Stufen vor sich:

1. es wandelt sich nur der Perlit in Martensit um und
2. der gebildete Martensit vermischt sich bei höheren Temperaturen auch mit dem Ferrit.



Abb. 26\*. Werkzeugstahl mit 0,89% Kohlenstoff bei 820° C in Wasser abgeschreckt. Martensit.  
V = 200.



Abb. 27\*. Werkzeugstahl mit 1,54% Kohlenstoff bei 1100° C in Wasser abgeschreckt. Grober Martensit.  
V = 200.



Abb. 28\*. Werkzeugstahl (Fräseifeile) mit 1,23% Kohlenstoff in Wasser abgeschreckt. Austenit zwischen den Martensitnadeln.  
 $V = 200$ .



Abb. 29\*. Werkzeugstahl mit 1,57% Kohlenstoff bei 1350° C in Wasser von 5° C abgeschreckt. Grobe Martensitnadeln im Austenit.  
 $V = 350$ .

Wenn aber in einem Stahl nur Perlit und kein Ferrit vorhanden ist, wenn also der Stahl 1% Kohlenstoff enthält, dann hat es keinen Zweck, den Stahl übermäßig lange bei derjenigen Temperatur zu erhitzen, bei welcher der Perlit in Martensit übergeht, noch die Temperatur wesentlich zu erhöhen, da die unter 2. erwähnte und erst bei höheren Temperaturen vor sich gehende Veränderung aus Mangel an Ferrit überhaupt nicht eintreten kann. Aus diesem Grunde ist es erklärlich, daß das Abschrecken der höher gekohlten Stähle zur Erzielung der größten Härte bei einer niedrigeren Temperatur stattfinden muß, als bei Stählen mit weniger als 1% Kohlenstoff. Es ist aber irrig, anzunehmen, daß Stahl, der ungefähr 0,6% Kohlenstoff enthält, überhaupt nicht bei der niedrigsten Temperatur gehärtet werden könnte, die bei einem Stahl mit 1% Kohlenstoff ausreichend ist. Dieselbe Veränderung geht in beiden Stahlsorten bei annähernd derselben Temperatur vonstatten, nur mit dem Unterschiede, daß bei dem Stahl mit 0,60% Kohlenstoff eine höhere Temperatur nötig ist, um den Ferrit zu zerstören, der z. B. in Abb. 9 noch sichtbar ist, wogegen im letzteren Falle diese Erwägung sich nicht aufdrängen kann, weil kein freier Ferrit mehr im Stahl mit 1% Kohlenstoff vorhanden ist.

Das Abschrecken eines Stückes Stahl aus einer Temperatur, bei der Perlit in Martensit übergeht und die als die niedrigste Härtungstemperatur bezeichnet wird, liefert also ein Material, dessen Kleingefüge von demjenigen des ursprünglichen Stahls wesentlich verschieden ist. Wenn man jedoch den bis auf die Härtungstemperatur erhitzten Stahl langsam abkühlen läßt, so zeigt er nach dem Abkühlen das ursprüngliche Kleingefüge. Beim langsamen Abkühlen treten also in einem Stahl die umgekehrten Veränderungen ein, die beim Erhitzen vor sich gehen. Dies bedeutet, daß der Ferrit, der als der letzte Gefügebestandteil in einem weichen Stahl beim Erhitzen verschwand, der erste ist, der beim Abkühlen wieder erscheint. Wenn auch der Ferrit beim Abkühlen zunächst sehr langsam erscheint, so nimmt er doch schließlich im Stahl denselben Raum ein wie vor dem Erhitzen. Gleichzeitig mit der Rückbildung des Ferrits werden auch wieder unter dem Mikroskop die dunklen Flächen beobachtet, die aus Ferrit und Zementit bestehen und die als Perlit bezeichnet werden. Wenn einmal die Temperatur des Stahls bis zur Perlitbildung gesunken ist, dann kann durch kein noch so energisches Abschrecken irgend eine

Härtung erzielt werden, und zwar deshalb nicht, weil der die Härte des Stahls bedingende Martensit in dem betreffenden Stahl nicht vorhanden ist. Die beim langsamen Abkühlen eines bis zur Härtetemperatur erhitzten Stahls vor sich gehenden Veränderungen sind aus den Abb. 22 bis 24 ersichtlich, wenn dieselben in umgekehrter Reihenfolge betrachtet werden.

Erhitzt man einen Stahl zwecks Härtens erheblich über seine niedrigste Härtetemperatur (überhitzte Härtung), so wird der Martensit, der bei dieser niedrigsten Temperatur sehr feinkörnig

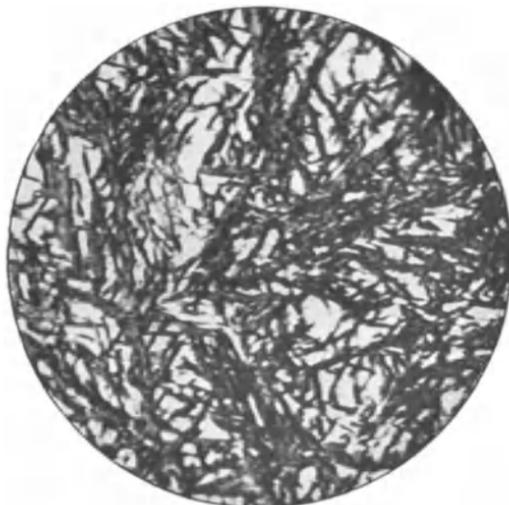


Abb. 30\*. Wie Abb. 28.  
V = 600.

ist (Abb. 21), immer größer und natürlich wird auch der Stahl immer spröder. In den Abb. 26 bis 32 sind einige Kleingefügebilder von gehärteten Stählen zusammengestellt, aus denen die Vergrößerung des Martensits bei hohen Härtetemperaturen deutlich hervortritt. Bei sehr hoher Temperatur verschwindet der Martensit allmählich, um einem neuen Gefügebestandteile Platz zu machen, der im Gegensatz zum Martensit kein ausgeprägtes Aussehen besitzt und nach dem Ätzen eines solchen Stahls mit alkoholischer Salpetersäure als weiße Fläche unter dem Mikroskop erscheint. Dieser Gefügebestandteil, der in Stählen nur bei hohen Härtetemperaturen (oberhalb  $1000^{\circ}\text{C}$ ) auftritt, heißt

Austenit. Für den Stahlhärter hat dieser Gefügebestandteil weniger Bedeutung. Sein Auftreten ist ein Zeichen dafür, daß der Stahl aus sehr hoher Temperatur, die beim normalen Härten nicht angewendet werden darf, abgeschreckt wurde. In hoch erhitzten und dann abgeschreckten Kohlenstoffstählen tritt der Austenit, der im Gegensatz zum Martensit weich ist, nur selten rein auf, er ist fast immer mit Martensit vermischt. In den Abb. 28 bis 31 sind die zwischen den Martensitnadeln vorhandenen weißen Flächen als Austenit zu bezeichnen.

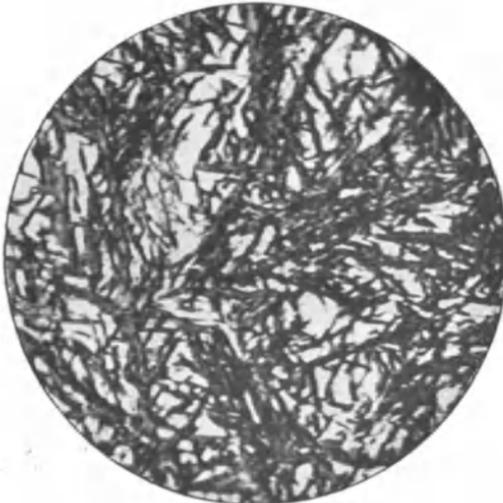


Abb. 31\*. Werkzeugstahl mit 1,23% Kohlenstoff bei 1250° C in Wasser abgeschreckt. Polyederstruktur.  
V = 200.

Da, wie bemerkt, ein Stahl mit martensitischem Kleingefüge spröde ist, so neigen martensitische Stähle, besonders wenn der Martensit grob ist, sehr leicht zur Bildung von Rissen (Härterissen), die meist in Richtung der Grenzflächen (Kristallfugen) der einzelnen Körner, die gewöhnlich von polyedrischer Gestalt sind, verlaufen (Abb. 32 und 33). Die Abb. 32 zeigt den charakteristischen Verlauf von Härterissen in hochgekohlten und aus sehr hoher Temperatur abgeschreckten Kohlenstoff-Werkzeugstählen. Bei Schnelldrehstählen, die bei sehr hoher Temperatur gehärtet werden müssen und die hierbei des öfteren ebenfalls

ein martensitisches Gefüge annehmen, treten ganz ähnlich verlaufende Härterisse auf (Abb. 33), deren Zustandekommen gleichen Ursachen zuzuschreiben ist.

Der Vollständigkeit halber soll hier noch ein Gefügebestandteil besprochen werden, der in hochkohlenstoffhaltigen Stählen auftritt, wenn dieselben aus hoher Temperatur abgeschreckt werden. Es ist dies der sog. Ledeburit (Abb. 34), der meist neben Martensit und Austenit erscheint. Er ist ein charakteristischer



Abb. 32\*. Werkzeugstahl mit 1,54% Kohlenstoff bei 1280° C in Wasser abgeschreckt. Härterisse.  
V = 200.

Gefügebestandteil (Eutektikum) des weißen Roheisens. Ein richtig gehärteter Werkzeugstahl enthält diesen Gefügebestandteil nicht, sein Auftreten läßt den Schluß zu, daß ein hochgekohlter Stahl in unmittelbarer Nähe seines Schmelzpunktes abgeschreckt wurde.

Die genaue Kenntnis der Gefügebestandteile in abgeschreckten Stählen ist deshalb von großer Wichtigkeit, weil man aus dem Vorhandensein der verschiedenen Gefügebestandteile nachträglich auf die Höhe der angewendeten Härtetemperatur schließen kann. Deshalb ist es auch möglich, die Arbeit des Härtens zu überwachen und festzustellen, ob die an den gehärteten Werkzeugen

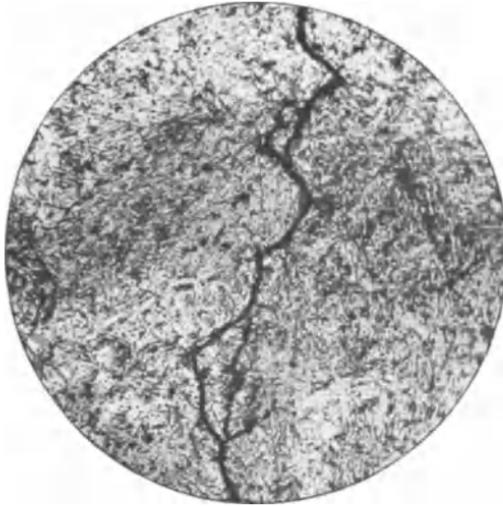


Abb. 33\*. Elektro-Schnelldrehstahl mit 0,57% Kohlenstoff, 14,54% Wolfram und 4,55% Chrom bei 1250° C in Talg abgeschreckt. Härteriß.  
V = 200.



Abb. 34\*. Werkzeugstahl mit 1,54% Kohlenstoff bei 1350° C in Wasser abgeschreckt. Ledeburit im Austenit-Martensit.  
V = 200.

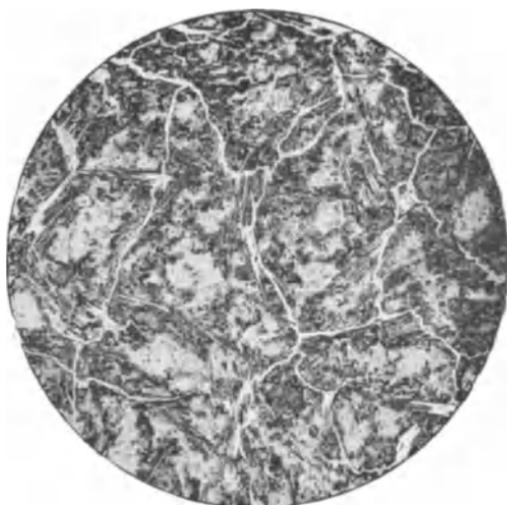


Abb. 35\*. Werkzeugstahl mit 1,23% Kohlenstoff bei 750° C in Wasser abgeschreckt. Zementitadern im Martensit.  
V = 200.

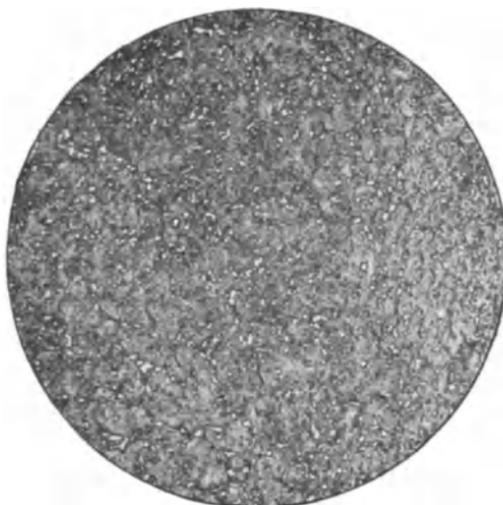


Abb. 36\*. Kleingefüge der Schneide eines Drehmessers. Zementitkörner im Martensit.  
V = 200.

auftretenden Mängel einer unrichtigen Arbeitsweise beim Härten zuzuschreiben sind.

Alle Stahlsorten mit mehr als 1% Kohlenstoff enthalten, wie oben auseinandergesetzt wurde, freien Zementit, und zwar meist in Form eines Netzwerks. Dieser Bestandteil ist auch in gut gehärteten Werkzeugen ziemlich reichlich vorhanden (Abb. 35). Er ändert beim Erhitzen des Stahls seine Lage nicht, noch werden durch seine Anwesenheit die physikalischen Eigenschaften des gehärteten Stahls geändert, wenn nicht der Stahl zufällig

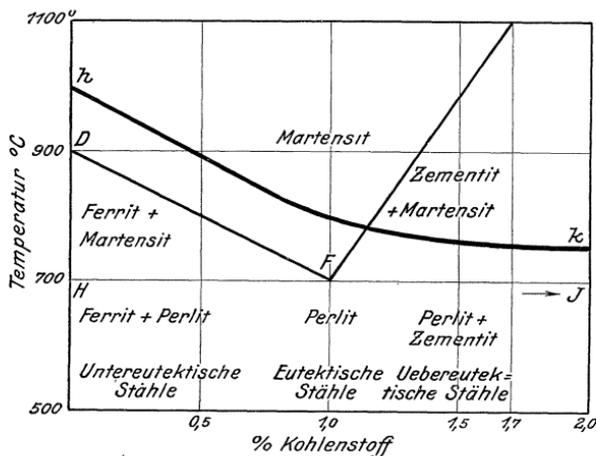


Abb. 37\*. Zustandsdiagramm der Eisen-Kohlenstofflegierungen von 0 bis 1,7% Kohlenstoffgehalt nebst ihren zweckmäßigen Härtetemperaturen (Kurve  $h-k$ ).

weit über seine niedrigste Härtungstemperatur erhitzt und dadurch der Zementit zum Verschwinden gebracht wurde. Diese Veränderung geht bei etwa 900° C vor sich, und solcher Stahl zerspringt dann leicht beim Härten. Derartige Sprünge haben eine große Neigung, sich in der Richtung der Begrenzungsebenen der einzelnen Körner auszudehnen. Durch anhaltendes Schmieden eines Stabes wird das Zementitnetz zerstört, der Zementit tritt dann in einzelnen winzigen Körnern auf, die infolge ihrer großen natürlichen Härte in Gemeinschaft mit dem sie umgebenden feinkörnigen Martensit besonders gehärteten feinen Schneidwerkzeugen eine ausgezeichnete Härte und Schneidfähigkeit verleihen (Abb. 36).

Der Gebrauch von Stahlsorten, die freien Zementit enthalten, ist, wie auf S. 15 erörtert wurde, nur für Werkzeuge gestattet, die keinen starken Schlägen oder Stößen ausgesetzt sind. Da aber der Zementit härter als irgend ein anderer, sei es natürlich vorkommender oder künstlich hergestellter Gefügebestandteil des Stahls ist, so ist ein Werkzeugstahl mit freiem Zementit dort mit Vorteil anzuwenden, wo die mechanische Abnutzung, wie an der Spitze eines Drehstahls oder an dem Lochrande eines Ziehens, möglichst gering sein soll.

In dem Diagramm, Abb. 37, sind in den einzelnen Feldern alle diejenigen Gefügebestandteile angegeben, die in einem ungehärteten und normal gehärteten Werkzeugstahl vorkommen. Die stark ausgezogene Kurve gibt die geeignetsten Härtetemperaturen für Stähle mittlerer Stückgröße an. Sie steht in Beziehung zum Kohlenstoffgehalt und zu den entsprechenden kritischen Temperaturen. Für Stähle unter 1% Kohlenstoff, also für untereutektische Stähle, liegt die Kurve oberhalb der Umwandlungszone, für eutektische Stähle bei etwa  $740 - 780^{\circ} \text{C}$  und bei den übereutektischen Stählen mit wachsendem Kohlenstoffgehalte nähert sich die Kurve der Umwandlungstemperatur der eutektischen Stähle<sup>1)</sup>. Die Linie *HJ* wird die eutektische Gerade genannt. Die Abb. 37 stellt mithin nur den Teil des sog. Zustandsdiagramms der Eisenkohlenstofflegierungen dar, der für den Werkzeugstahlfabrikanten und den Stahlhärter von Wichtigkeit ist.

### 3. Veränderungen der Form und des spezifischen Gewichts.

Die an verschiedenen Seiten und Formen eines Stahlstückes beim Härten auftretenden verschiedenen Verwerfungen bergen eine endlose Quelle von Mißerfolgen besonders bei der Anfertigung von Lehren und Feinwerkzeugen in sich. Wie erfreut würde man über einen Stahl sein, der sich beim Härten weder ausdehnt, noch zusammenzieht, oder selbst über einen Stahl, dessen Änderungen in den Abmessungen beim Härten im voraus bestimmt werden könnten. Ein solcher Idealstahl ist aber bis jetzt noch nicht hergestellt worden, und zwar aus dem einfachen Grunde, weil die wegen der Härtung notwendige Erhitzung des Stahls

---

<sup>1)</sup> Vgl. Mars, a. a. O. S. 173.

eine Änderung seines Gefüges veranlaßt, die unbedingt auch eine Änderung der äußeren Gestalt des Stahls herbeiführen muß.

Das Volumen eines Stückes Stahl nimmt beim Härten immer zu, obgleich gewöhnlich ein Stab kürzer und eine Platte sowohl kürzer als auch schmaler wird, um dafür in der Stärke so viel zu gewinnen, daß tatsächlich eine Vermehrung des Volumens nach der Härtung nachweisbar ist. Ein Würfel gibt beim Härten, besonders nach mehrmaliger Härtung, seine Würfelform auf, indem sich die Ecken und Kanten nach außen verziehen und zuweilen sogar die Mittelpunkte der Flächen nach dem Schwerpunkt zustreben (Abb. 38). Im Vergleich zum Würfel erleidet die Kugel beim Härten nur eine sehr geringe Oberflächenvergrößerung, wobei sie stets ihre Kugelform beibehält<sup>1)</sup>.

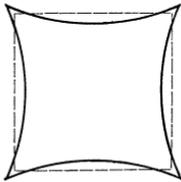


Abb. 38\*. Formänderung eines Würfels aus eutektischem Kohlenstoffstahl nach mehrmaliger Härtung.

Lehrreiche Versuche über Längenänderungen an gehärtetem Stahl, insbesondere an Maßkörpern, haben in neuerer Zeit Leman und Werner durchgeführt<sup>2)</sup>. Sie fanden, daß die unmittelbare Einwirkung des Härtens sowohl in Verlängerungen als auch Verkürzungen bestehen kann. In der Praxis sind zwei Verfahren üblich, die störenden Längenveränderungen auf ein Mindestmaß herabzudrücken.

Das eine Verfahren besteht darin, die Härtung nicht über den ganzen Körper, sondern nur über die der Abnutzung ausgesetzten Stellen auszudehnen: bei langen Endmaßen die Enden, bei Rachenlehren die Backen in der Nähe der Tastflächen usf. zu härten. Bei dem zweiten Verfahren wird der Maßkörper einer künstlichen Alterung unterworfen, um den natürlichen Ausgleich der beim Härten aufgetretenen Spannungen zu beschleunigen, die auf Änderungen in den ursprünglichen Abmessungen, hervorgerufen durch die beim Erhitzen vor sich gehenden Gefügeveränderungen, zurückzuführen sind. Dieses Verfahren wird als Temperungsverfahren bezeichnet und beruht auf der Beobachtung, daß eine vorübergehende Erwärmung des gehärteten Stahls auf etwa 150–200° C den Härtegrad nicht wesentlich herabsetzt, andererseits aber bei genügend langer Dauer

<sup>1)</sup> Mars, a. a. O. S. 110.

<sup>2)</sup> Werkstattstechnik 1911, S. 453.

oder mehrfacher Wiederholung die Härtespannungen nahezu beseitigt. Diesem jetzt allgemein in der Technik angewendeten Verfahren werden nicht nur Maßkörper, sondern auch Präzisionswerkzeuge, Bohrer, Fräser, Reibahlen usw. unterworfen, um ein Verziehen derselben zu verhüten. Bei stählernen Maßkörpern, die in ihrer ganzen Länge der Härtung unterworfen worden sind, genügt nach Leman und Werner eine etwa 10stündige Temperung im Ölbad bei etwa  $150^{\circ}$  C, um die Härtespannungen sicher zu beseitigen.

Als Regel kann angenommen werden, daß abgeschreckter Stahl sich meist senkrecht zu seinen größten Begrenzungsflächen ausgedehnt hat, während nach anderen Richtungen oft Verkürzungen auftreten. Die Ursache für die Zunahme in der Größe ist die, daß der Martensit, der sich oberhalb des Kaleszenzpunktes bildet und dann durch plötzliches Abkühlen im Stahl festgehalten wird, ein geringeres spez. Gewicht besitzt als die Bestandteile, aus denen er entstanden ist. Deswegen ist im allgemeinen die Zunahme im Volumen um so größer, je schneller und energischer die Abkühlung oder je höher die Abschrecktemperatur (innerhalb gewisser Grenzen) ist.

Von Fromme<sup>1)</sup> wurde eine Reihe von Stahlstäben von verschiedenen Stärken unter denselben Bedingungen gehärtet und darauf angelassen. Er bestimmte dann ihr Volumen, indem er das Volumen des ungehärteten Stahls als Einheit setzte und erhielt dann als spezifische Volumina folgende Werte:

Eigenschaft des Stabes	Spezifisches Volumen des Stabes von 7 mm Durchmesser	Spezifisches Volumen des Stabes von 4,2 mm Durchmesser	Spezifisches Volumen des Stabes von 2,65 mm Durchmesser	Spezifisches Volumen des Stabes von 2,55 mm Durchmesser
ungehärtet . .	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
größte Härte .	1,00772	1,01000	1,01285	1,01210
angelassen, gelb	1,00347	1,00495	1,00660	1,00620
„ blau	1,00217	1,00425	1,00370	1,00205
„ grau	0,99957	1,00060	1,00055	0,99930
ausgeglüht . .	—	1,00175	1,00215	1,00340

Diese Zahlen zeigen nicht nur, daß beim Härten Werkzeuge von geringerem Querschnitte eine größere Zunahme ihres Volumens

<sup>1)</sup> Wiedemanns Annalen 1879, S. 352. — Vgl. Reiser, a. a. O. S. 31.

erfahren, sondern daß auch das Anlassen das Volumen verringert. Die Änderung im spez. Gewicht eines bei  $800^{\circ}\text{C}$  gehärteten und bei verschiedenen Temperaturen angelassenen Stahles mit 0,83% Kohlenstoff ist in neuerer Zeit von Maurer<sup>1)</sup> untersucht worden, dessen Versuchsergebnisse als Diagramm in Abb. 39 dargestellt sind.

Neben den Änderungen im spez. Gewicht, über welche der Stahlhärter vollkommen ausreichend unterrichtet ist, gibt es noch eine andere Veränderung, die beim Abkühlen des Stahls (und in umgekehrter Weise beim Erhitzen) vor sich geht, von der weniger

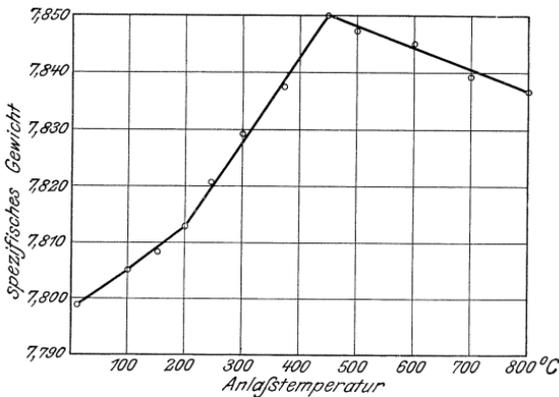


Abb. 39. Beziehungen zwischen spezifischem Gewicht und Anlaßbehandlung eines Kohlenstoffstahls mit 0,83% Kohlenstoff nach dem Abschrecken von  $800^{\circ}\text{C}$ . Nach Maurer.

Notiz genommen wird, obgleich ihre Wirkungen sich oft sehr unangenehm bemerkbar machen. Beim langsamen Abkühlen eines auf etwa  $900^{\circ}\text{C}$  erhitzten Stahlstabes verkürzt er sich in der Länge allmählich und gleichmäßig, bis eine Temperatur von ungefähr  $700^{\circ}\text{C}$  erreicht ist. Die Zusammenziehung hört dann auf und eine merkliche Ausdehnung beginnt, also da, wo die thermische Kurve einen Haltepunkt beim Fallen der Temperatur zeigt (Abb. 20). Die Haltepunktskurve und die Ausdehnungskurve für Stahl mit etwa 1% Kohlenstoff, die gleichzeitig mit einem besonderen Gerät für Haltepunktsbestimmungen aufgenommen wurden, sind in Abb. 40 dargestellt. Der Anfang beider Kurven ist durch

<sup>1)</sup> Metallurgie 1909, S. 33 und G. Mars, a. a. O. S. 185.

die Pfeile gekennzeichnet. Der rechte Ast der punktierten Kurve (Ausdehnungskurve) steigt allmählich bis auf  $900^{\circ}$  C an, um dann wieder bis nahe zum Ausgangspunkt zurückzukehren. Die Knickpunkte in dieser Kurve, die der Ausdehnung bzw. Zusammenziehung des Stahls entsprechen, stimmen überein mit den Knickpunkten in der ausgezogenen Haltepunktsskurve, bei welcher der Knick in dem aufsteigenden Ast dem Kaleszenzpunkt (C) und der Knick in dem absteigenden Ast dem Rekaleszenzpunkt (R) entspricht. Die Knickpunkte der Haltepunktsskurve und der Ausdehnungskurve liegen bei denselben Temperaturen.

Die Ausdehnung während des Abschreckens von Stahl macht sich in sehr unangenehmer Weise bei großen Gegenständen von

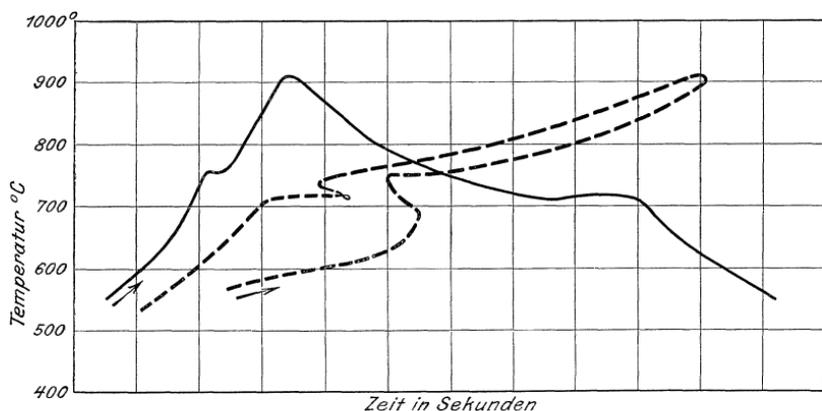


Abb. 40.

kreisrundem Querschnitt bemerkbar. Allgemeiner gesprochen besagt dies, daß die Bruchgefahr beim Härten eines Stückes Rundstahl, der Glashärte auf der Oberfläche verlangt, mit seinem Durchmesser zunimmt. Kleine Stahlwalzen, Kaliberbolzen, große Gewindebohrer, Reibahlen usw. werden meistens in ihrer ganzen Länge aufreißen, wenn sie nicht sorgfältig beim Härten behandelt werden. Es wird häufig angenommen, daß solche Werkzeuge aufreißen, weil „die äußeren Teile über die inneren beim Abkühlen schrumpfen. Dies ruft eine Druckwirkung der Innenseite auf die Außenseite hervor, die um so größer wird, je größer die Temperatur auf der Außenseite ist, d. h. je dicker der Stahl ist.“

Es ist schwer, der vorstehenden Erklärung zu folgen, und man wird dieselbe besser durch die klarere Darstellung, die aus

Abb. 40 abzuleiten ist, ersetzen. Wenn nämlich die Außenseite eines runden Stahlgegenstandes ganz hart wird, bevor der innere Teil sich unter diejenige Temperatur abgekühlt hat, bei welcher die kritische Ausdehnung vor sich geht, dann muß das gehärtete Äußere, weil es nicht nachgeben kann, beim Einsetzen der kritischen Ausdehnung aufreißen. Das Aufreißen eines gehärteten Stahlzylinders durch Expansivkräfte des Stahlkernes geht leicht vonstatten. Das Auftreten von Brüchen bei runden Stäben ist auf S. 63 und 128 besprochen und die geeignete Behandlungsweise zur Vermeidung von Bruch bei grobgezähnten zylindrischen Werkzeugen auf S. 112 dargelegt worden. Die Gewohnheit, die Mitte von Stahlwalzen, großen Kaliberbolzen usw. vor dem Härten auszubohren, um Sprüngen vorzubeugen, erleichtert die Abkühlung der inneren Teile unter die kritische Temperatur, ehe die äußere Schicht durch das Abschrecken völlig kalt und hart wird (s. S. 122).

### III. Fehler und Bruchaussehen des Rohstahls.

Die nachstehenden Ausführungen müßten eigentlich auf die Betrachtungen der beim Schmieden vorkommenden Arbeiten folgen. Da jedoch der Werkzeugfabrikant fertige Stahlstangen als Rohmaterial ansieht, so muß er imstande sein, vor Beginn seiner eigenen Arbeit jene äußerlichen Fehler am Rohstahl zu erkennen, die leicht zu Mißerfolgen bei der Wärmebehandlung des aus dem Rohstahl gefertigten Werkzeuges führen können.

Ein roher Gußstahlblock ist nicht überall von gleicher Beschaffenheit. Abgesehen von ungenügender Durchmischung des flüssigen Stahls während des Gießens, was allerdings bei Stahlblöcken, die aus kleinen Schmelztiegeln gegossen worden sind, seltener vorkommen wird, ist auch noch die Möglichkeit zur Entstehung von Lunkern, Gußblasen, Schlackeneinschlüssen usw. vorhanden.

Der Lunker kann als derjenige Hohlraum bezeichnet werden, der durch das Schwinden in einem Stahlblock entsteht, und zwar dadurch, daß das geschmolzene Metall allmählich aus dem flüssigen in den festen Zustand übergeht. Um das Lunkern nach Möglichkeit zu vermeiden, wendet man besonders bei Flußstahl, aber auch bei Gußstahlblöcken den verlorenen Kopf an, d. h. man gibt dem Gußblock eine größere Höhe als er nach dem Erstarren haben soll und schneidet nach dem Erstarren den oberen Teil, den verlorenen Kopf, ab. Der verlorene Kopf bewirkt, daß das Innere des eigentlichen Blocks möglichst lange flüssig bleibt. Hierdurch wird erreicht, daß das Metall aus dem verlorenen Kopf in dem Maße nachfließt, wie das Schwinden im Inneren des Blocks vor sich geht. Die mit der Anwendung des verlorenen Kopfes verbundenen Vorteile sind um so größer, je länger der verlorene Kopf flüssig erhalten wird. Um dies zu erreichen, bedeckt man ihn häufig mit Brennmaterial, gewöhnlich Holzkohlenstaub, der durch das flüssige Eisen zur Entzündung kommt und hierdurch einen Teil

seiner Verbrennungswärme auf den verlorenen Kopf überträgt. Zwar verhindert die brennende Holzkohle, daß die Temperatur im oberen Teile des verlorenen Kopfes sinkt und daher erhält er auch die obere Schicht des eigentlichen Gußblocks länger in flüssigem Zustande, aber zu gleicher Zeit wird die obere Schicht durch



Abb. 41. Innenkohlung eines Gußblocks durch Holzkohle.

das verwendete Brennmaterial gekohlt, zumindest tritt aber eine Kohlung des verlorenen Kopfes ein.

Solange der flüssige Stahl sich gleichmäßig abkühlt, werden in dem verlorenen Kopfe die obersten Lagen, die später von dem Block getrennt werden, gekohlt, wogegen nichts einzuwenden ist. Wenn jedoch ein Teil des stark gekohnten, noch flüssigen verlorenen Kopfes Gelegenheit findet, in das Innere des Blocks zu laufen,

was auf eine zu geringe Größe des verlorenen Kopfes oder auf eine teilweise Erstarrung der äußeren Teile des Gußblocks zurückgeführt werden kann, dann erhält man in dem eigentlichen Gußblock einen hochgeköhlten Kern (Abb. 41). Eine Stange, die hochgeköhlte Anteile aus dem verlorenen Kopf enthält, würde in der Mitte bis auf einen gewissen Teil ihrer Länge viel harter als an anderen Stellen sein. Dieser Unterschied in der Härte läßt sich schon an der Bruchfläche der Stange erkennen und noch schärfer tritt der Unterschied auf einem polierten und dann

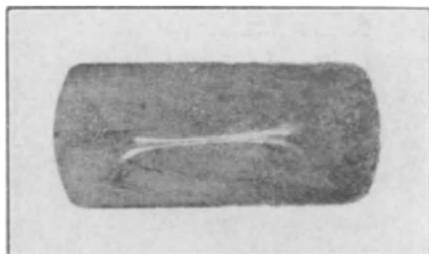


Abb. 42. Querschnitt eines Meißels mit hochgeköhltem Kern.

geätzten Schliff des Querschnittes der Stange hervor. Eine Abbildung eines Querschnittes von einem Meißel mit harter Mitte ist in Abb. 42 wiedergegeben. Eine Stahlstange mit harter Mitte ergibt Meißel, die Neigung zum Absplittern an der Schneidkante besitzen. Abb. 43 zeigt

einen Längsschnitt durch eine Stange aus einem Gußblock mit hochgeköhltem Kern. Hätte man diese Stange zu Werkzeugen verarbeitet, so würden sie je nach der Art ihrer Verwendung Mängel aufweisen, die ihren praktischen Gebrauch fast unmöglich machen.

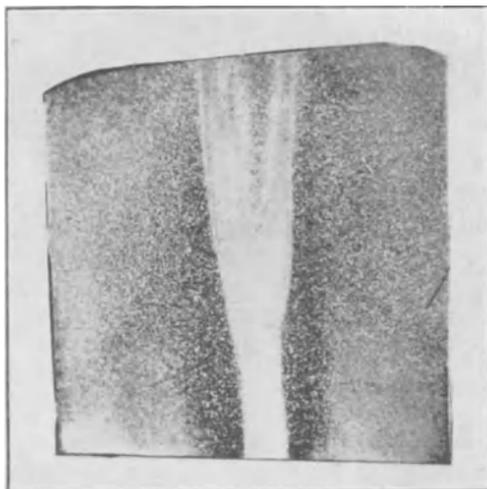


Abb. 43. Längsschnitt einer Stahlstange aus einem Gußblock mit hochgeköhltem Kern.

Da es nicht schwer ist, Gußfehler, wie sie vorstehend beschrieben

sind, in den Rohstangen aufzufinden, z. B. durch Prüfung des Kleingefüges, so müssen derartige fehlerhafte Stahlstangen aus

dem Stahllager entfernt werden, ehe sie in die Hand des Werkzeugfabrikanten kommen.

Blasenräume, ebenso wie Lunker, traf man früher in Stahlblöcken für Werkzeugstähle häufiger an als heute. Zur Beseitigung dieser Fehler pflegte man jeden Stahlblock von hoher Qualität erst vorzuschweißen, bevor man ihn zu handelsüblichen Stäben auswalzte. Obwohl Blasenräume und Oberflächenfehler jetzt weniger zahlreich bei Stahlblöcken vorkommen, können sie auch

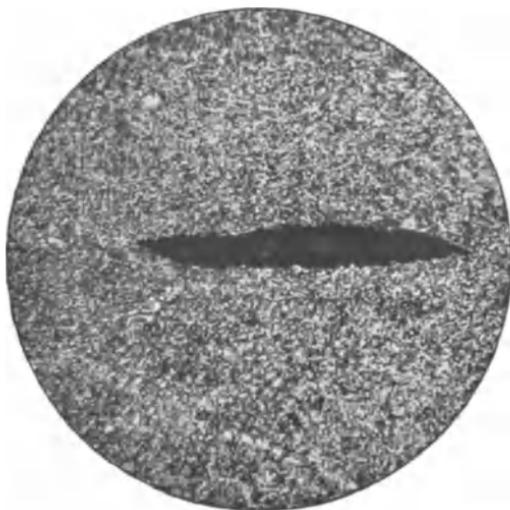


Abb. 44\*. Gußblase in einem ausgeglühten englischen Schnelldrehstahl mit 0,65% Kohlenstoff, 18,25% Wolfram, 3,65% Chrom und 0,15% Vanadium.  
 $V = 200$

heute trotz neuzeitlicher Verbesserungsverfahren, z. B. durch Pressen des noch nicht erstarrten Stahlblocks, nicht völlig zum Verschwinden gebracht werden.

Selbst in den teuersten Werkzeugstählen, den Schnelldrehstählen, können Blasenräume vorhanden sein, wie aus Abb. 44 hervorgeht, die einen Teil des Querschnitts einer Rohstange aus Schnelldrehstahl darstellt. Die Stahlstange war zur Herstellung von großen Walzenfräsern bestimmt und gewisse Mängel an einem gehärteten Fräser veranlaßten eine eingehende Prüfung der Stange, wobei neben vielen anderen Gußblasen die in Abb. 44 deutlich sichtbare Gußblase gefunden wurde (s. S. 129).



Abb. 45\*. Siemens-Martinstahl mit Schlackeneinschlüssen. Querschliff.  
V = 200.

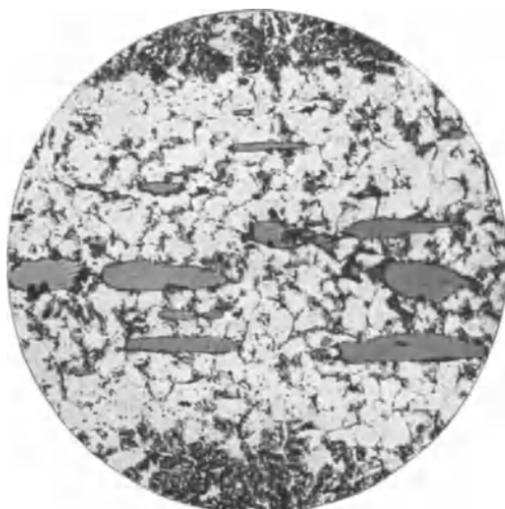


Abb. 46\*. Wie Abb. 45. Längsschliff.  
V = 200.



Abb. 47\*. Abgesplitterte Stelle am Zahnkopfe eines Zahnes von einem im Einsatz gehärteten Zahnrade. Ein Riß verläuft in Richtung der Schlackeneinschlüsse.  
V = 100.



Abb. 48\*. Fortsetzung von Abb. 47.  
V = 200.

Die Nachteile, die bei der Verarbeitung von Rohstahl mit Schlackeneinschlüssen, überhaupt fremdartigen Einlagerungen, dem Werkzeugfabrikanten erwachsen können, sind aus den Abb. 45 bis 48 ersichtlich. Die Abb. 45 und 46 gibt das Keimgefüge einer Stange aus Siemens-Martinstahl wieder, die zur Herstellung von im Einsatz zu härtenden Zahnrädern benutzt wurde. Die grauen in der weißen Ferritader vorhandenen Stellen sind Schlackeneinschlüsse, die beim Gießen des Rohblocks infolge zu schneller Abkühlung desselben oder wegen eines zu kleinen verlorenen Kopfes sich nicht

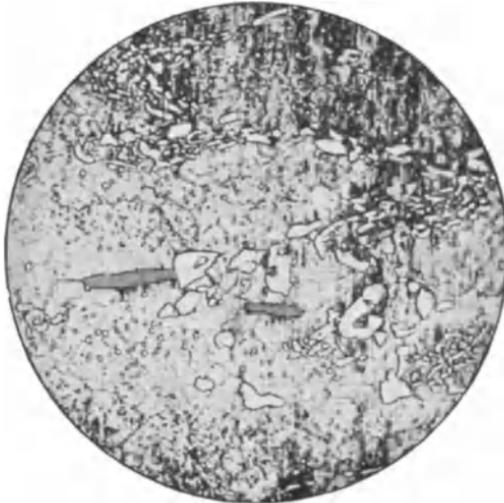


Abb. 49\*. Einschlüsse in der Schneide eines gehärteten Fräasers aus Schnelldrehstahl.  
V = 300.

mehr aus dem eigentlichen Blocke abscheiden konnten oder deren Vorhandensein irgend einem anderen Umstande zuzuschreiben ist. Die aus diesem Stahl hergestellten und im Einsatz gehärteten Zahnräder hatten nach kurzem Gebrauche die unangenehme Eigenschaft, daß die Zähne absplitterten. Abb. 47 zeigt das Aussehen einer abgesplitterten Stelle am Zahnkopfe. Man sieht einen nach dem Inneren verlaufenden Riß, dessen Richtung den fremdartigen Einschlüssen folgt. Abb. 48 stellt in stärkerer Vergrößerung die Fortsetzung von Abb. 47 dar und läßt erkennen, daß diese Einschlüsse schließlich bis in die Nabe des Zahnrades gehen. Auch auf den

abgesplitterten Stücken einer Reihe anderer Zähne desselben Zahnrades waren fremdartige Einschlüsse nachweisbar.

Selbst in Schnelldrehstählen, deren sorgfältige Herstellung die Gewähr für fehlerfreien Guß liefern sollte, kommen fremdartige Einschlüsse vor. In einem gehärteten Walzenfräser aus englischem Schnelldrehstahl, der an der Schneide ausbröckelte, konnten neben einem auch sonst nicht einwandfreien Gefüge unter dem Mikroskop die in Abb. 49 dargestellten dunklen, langgestreckten Einschlüsse beobachtet werden. Es steht außer



Abb. 50. Gußnaht in einem Stahlstabe.  
V = 12.

Zweifel, daß das schlechte Verhalten des Zahnrades und des Fräasers auf die fremdartigen Einlagerungen zurückzuführen ist, die in dem entsprechenden Rohstahl reichlich vorhanden waren.

Die hauptsächlichsten Oberflächenfehler, die schließlich noch an Gußblöcken auftreten und die nach dem Bearbeiten der Blöcke mit der Feile sich als schwarze oder graue Streifen darstellen, sind unter dem Namen Gußnähte bekannt. Sie werden durch die verschiedenartigsten Ursachen hervorgerufen und stellen langgestreckte Hohlräume dar, die mit Glühspan angefüllt sind. Das Aussehen einer Gußnaht ist aus Abb. 50 erkennbar.

Wenn Stahl mit Gußnähten gehärtet wird, reißt er häufig rechtwinklig zur Mitte, besonders dann, wenn der Stahl bei hoher Temperatur gehärtet wird. Chromstahl z. B. ist besonders leicht Oberflächenfehlern ausgesetzt und er wird unter gewissen Umständen beim Härten beständig abblättern, wenn die fehlerhafte Oberschicht nicht vorher (auf maschinellem Wege) entfernt worden ist.

Die Oberflächen der in einem Stahlblock vorkommenden Blasenräume oder Poren, die beim Vorschweißen oder Walzen zusammengedrückt werden, lassen einen eigentümlichen Glanz erkennen, der dadurch verursacht wird, daß jene Oberflächen während des Walzens übereinander verschoben werden. Die Oberflächen erscheinen dann wie breitgeschlagen und sind daher leicht zu unterscheiden von solchen inneren Fehlern, die durch ein Zusammendrücken des unzureichend erhitzten Materials zwischen den Walzen verursacht werden.

Falten entstehen dadurch, daß Teile des Rohstahls sich beim Walzen übereinanderlegen und so zusammengewalzt werden. Eine Falte läßt sich leicht von einem Riß unterscheiden. Die erstere geht schräg in den Stab, die Richtung der letzteren ist meist immer gegen die Mitte gerichtet. Eine Falte beginnt stets an der Oberfläche des Stahls. Wenn der Querschnitt einer Falte unter dem Mikroskop geprüft wird, so findet man, daß die Falte aus einer dünnen Schicht Glühspan besteht, die von Ferrit eingeschlossen ist, was dadurch zu erklären ist, daß an den Begrenzungsflächen der Falte eine Entkohlung des Materials durch den Glühspan (Zunder, Sinter) statt-

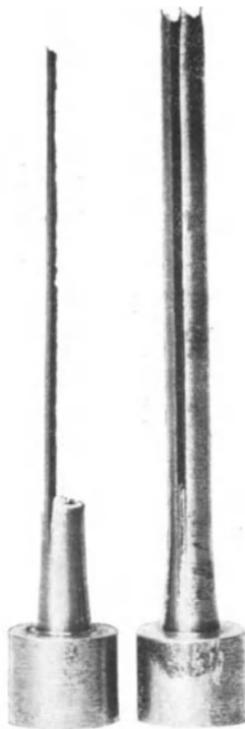


Abb. 51\*. Durch Blasenräume oder Falten vorzeitig zu Bruch gekommener Zerreißstab.

$\frac{3}{4}$  nat. Größe.

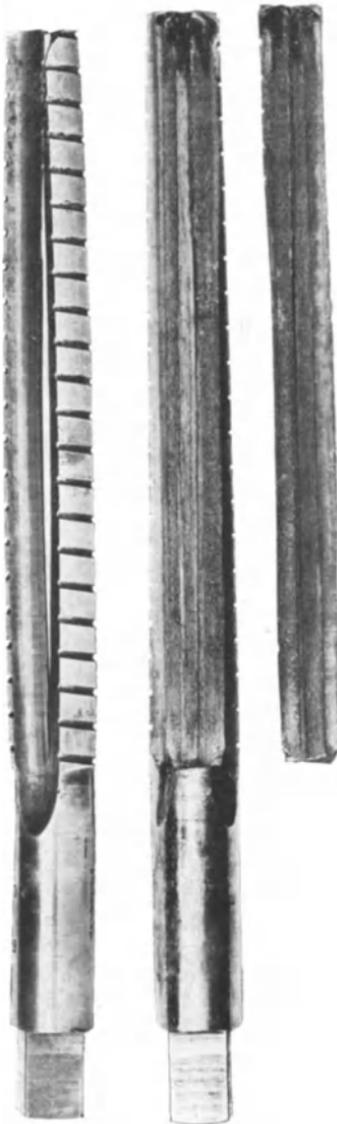


Abb. 52\*. Infolge schlechter  
Stahlbeschaffenheit beim Härten  
aufgerissene Reibahle  
 $\frac{1}{2}$  nat. Größe.

gefunden hat. Ein weiteres Beispiel schlechter Stahlbeschaffenheit geben noch die Abb. 51 u. 52.

Wie nachteilig für die Beurteilung eines Stahls Blasenräume, fremdartige Einlagerungen, Falten usw. sein können, erhellt aus Abb. 51, die einen Zerreistab darstellt, der in der Zerreißmaschine vorzeitig zu Bruch kam. Hier hatte durch das Walzen der Blasenräume oder die Falte eine langgestreckte Form angenommen.

Aus dem Aussehen der Oberfläche einer Stahlstange kann man schließen, bei welcher Temperatur die Stange die Fertigwalzen verließ. Da bei den Verbrauchern ein Vorurteil zugunsten einer glatten, stark glänzenden, blau angelauten Oberfläche herrscht, so werden viele gewalzte Stäbe bei sehr niedriger Rotglut und zuweilen noch darunter schnell gewalzt oder auf andere Weise bearbeitet, um die blaue Anlauffarbe zu erhalten. Die blau angelassene und glatte Oberfläche gefällt dem Auge, sie kann auch die Neigung zum Rosten vermindern, zerstört aber ein Beweisstück von wirklichem Werte bezüglich der guten und schlechten Eigenschaften des Stahls, die aus dem Aussehen einer nicht blau angelauten Oberfläche sich ergeben und die infolge der blauen Oberflächenfarbe nicht mehr so leicht erkannt werden können.

Das Aussehen der Bruchfläche kann oft zu Irrtümern

in der Beurteilung eines Stahls führen. Die Art des Bruchgefüges hängt davon ab, wie der Bruch hervorgerufen wurde. Ein Versuchsstück aus einem guten unausgeglühten Stahl kann, wenn es in der Zerreißmaschine zerrissen wurde, auf seiner Bruchfläche vollständig sehnig sein. Wenn jedoch ein eingekerbtes Stück desselben Stahls durch einen kurzen und scharfen Schlag zerbrochen wird, ist der Bruch immer deutlich kristallinisch und nicht sehnig. Es ist daher nicht zu empfehlen, auf das Aussehen solcher Bruchflächen, die unter unbekanntem Bedingungen entstanden sind, ein Urteil über die Brauchbarkeit des Stahls aufzubauen. Ein Stahlstück, das mit einer Dreikantfeile oder einer Sage oder am besten mit einem V-förmigen Schneidwerkzeuge eingekerbt ist und mit einem kurzen scharfen Schläge an der Kerbstelle zerbrochen wird, liefert einen für die zuverlässige Beurteilung des Stahls geeigneten Bruch.

Bei Rohstählen gleicher Beschaffenheit nimmt der Feinheitsgrad des Bruchgefüges zu, wenn die Temperatur, bei welcher das Material fertig gewalzt oder gehämmert worden ist, niedrig gehalten wird. Bis zu einem gewissen Grade ist eine niedrige Walztemperatur für das Material vorteilhaft, kann aber demselben schädlich werden, wenn die Temperatur zu niedrig z. B. bis unter sichtbarer Rotglut gehalten wird. Der Bruch eines Werkzeugstahls soll daher weder zu fein noch zu grobkörnig sein. Wenn die Naturhärte des Stahls (siehe S. 16) nicht sehr hoch ist, der Stahl also eine merkliche Zähigkeit besitzt, so sind seine Bruchstellen krumm und unregelmäßig, niemals gerade oder zackig. Eine gekrümmte und unregelmäßige Bruchfläche wird daher mehr bei weichen als bei harten Stählen beobachtet, doch können aus der Art der Bruchfläche nicht ohne weiteres Schlüsse gezogen werden. Es ist vielmehr stets zu empfehlen, einige Stücke von derselben Stange auf verschiedene Temperaturen zu erhitzen und sie schnell abzukühlen, um dann den Bruch und andere physikalische Eigenschaften unter bestimmten Versuchsbedingungen zu prüfen.

Rohstähle von verschiedener Beschaffenheit sind natürlich auch im Bruchgefüge verschieden, und es gibt daher kein Standard-Muster für alle Stahlsorten. Ein Bruch, der als normal für einen bestimmten Werkzeugstahl betrachtet werden kann, läßt sich an einem Stück herstellen, das während  $1/2$  Stunde auf  $760^{\circ}$  C erhitzt worden ist und das man an der Luft hat abkühlen lassen. Stücke

desselben Materials, die fein im Bruche sind, sind bei einer zu niedrigen Temperatur behandelt worden und Stücke mit größerem Bruche bei einer zu hohen Temperatur. Im ersteren Falle kann der Stahl, wenn er über 1% Kohlenstoff besitzt, feine Risse enthalten, die mit bloßem Auge nicht zu entdecken sind und die auf unzumutbare Temperatur während der Bearbeitung hindeuten. In diesem Falle ist der Stahl nicht genügend zäh und widerstandsfähig und ist vollständig ungeeignet zu solchen Werkzeugen, die kräftigen Schlägen Widerstand leisten sollen. Die Schäfte von Niethämmern für Kesselschmiede, die aus solchem Stahl hergestellt sind, brechen leicht im Stielloch und splintern am Kopfe

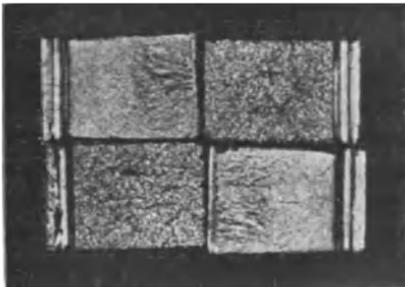


Abb. 53.

ab, nur um ein Beispiel von den vielen Mißerfolgen zu erwähnen, die auf rissigen Rohstahl zurückzuführen sind.

Um die beim Erhitzen von Stahl auf verschiedene Temperaturen eintretenden Veränderungen kennen zu lernen, wurde ein kurzer Stahlstab von 75 mm Durchmesser an einem Ende bis auf die für diesen Stahl geeignete

Schmiedetemperatur und an dem anderen Ende auf eine bedeutend höhere Temperatur erhitzt, um dann zu einem Stabe von 30 mm Durchmesser ausgeschmiedet zu werden. Stücke, die von den Enden des Stabes abgebrochen wurden, hatten ein sehr verschiedenes Aussehen. Aus diesen Endstücken wurden rechteckige Probestäbe von  $15 \times 10$  mm Kantenlänge herausgeschnitten und eingekerbt. Die eingekerbten Probestäbe wurden zwischen den Backen eines Schraubstocks eingespannt und durch einen Pendelhammer zerschlagen, der mit einer Anordnung zum Messen der Schlagarbeit versehen war. Auf diese Weise wurde festgestellt daß die zum Zerbrechen des feinkörnigen Materials notwendige Schlagarbeit sich auf etwa 8,5 mkg/qcm belief, während diejenige zum Zerbrechen des grobkörnigen Materials nur 1,5 mkg/qcm betrug. Die so erhaltenen Bruchflächen sind über Eck in Abb. 53 zusammengestellt.

Der erfahrene Walzwerksarbeiter legt besonders Gewicht auf ein „grünes“ Feuer, um eine möglichst reduzierende Atmosphäre

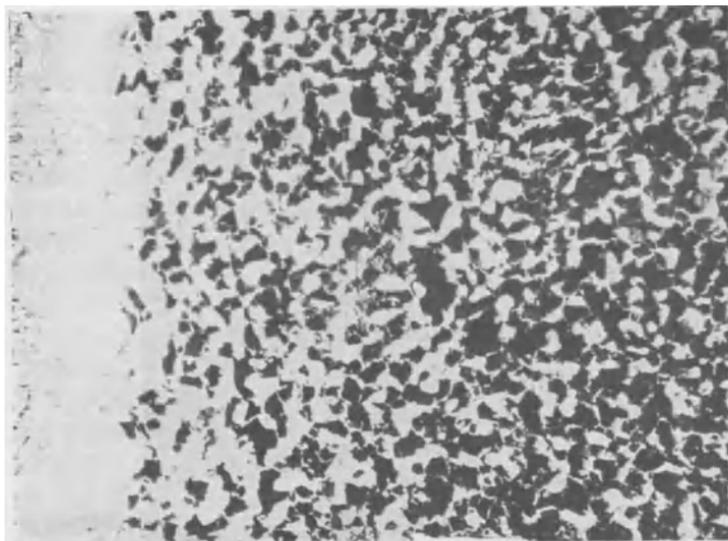


Abb. 54. Ausgeglühter Stahlguß, an der Oberfläche entkohlt (links).

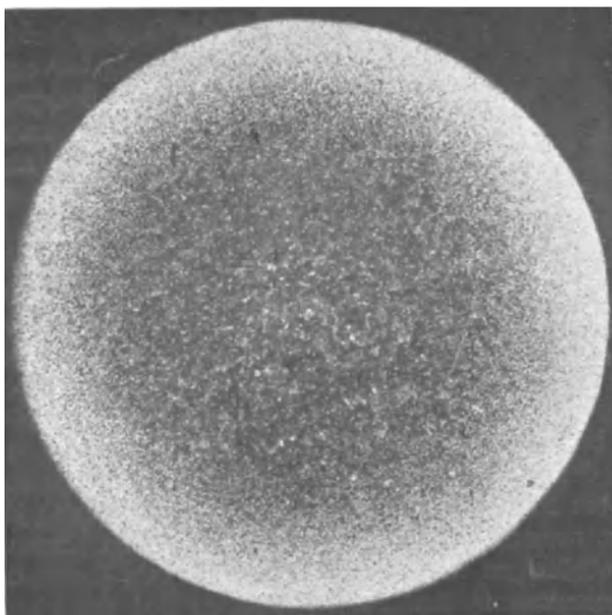


Abb. 55\*. Stahl mit 0,68% Kohlenstoff, oberflächlich entkohlt.  
V = 5.

im Glühofen zu erhalten. Wenn diese Vorsicht außer acht gelassen wird oder wenn durch irgend einen Zufall die Stahlblöcke bei einer zu hohen Temperatur einer oxydierenden Atmosphäre ausgesetzt werden, so werden die Außenschichten der Stahlblöcke



Abb. 56\*. Bruchaussehen einer Herdplatte aus einem Glühofen. Obere Schicht grob, untere Schicht feinkörnig.

V = 2.

Platte bei geringer Vergrößerung. Die Figur läßt erkennen, daß an der den heißen Gasen ausgesetzten Oberfläche der Platte ein grobes Korn auftritt, während nach der anderen Seite hin sich das normale feinkörnige Gefüge in scharfer Trennung von dem grobkörnigen fortsetzt. Ein geätzter Schliff aus dem mit den Feuergasen in Berührung gewesenen Teil der Platte zeigt nur große Ferritkristalle (Abb. 57), von Perlit ist nichts zu sehen, während ein Schliff aus dem den Feuergasen nicht ausgesetzten

entkohlt. Besonders bei dem aus bestimmten Gründen stattfindenden Ausglühen des Stahlgusses kann bei ungeeignetem Feuer eine Entkohlung beobachtet werden (Abb. 54 links). Noch deutlicher ist die entkohlte Außenschicht an einem polierten und geätzten Querschnitt einer Stange aus Werkzeugstahl mit 0,68%

Kohlenstoff erkennbar (Abb. 55). Die Entkohlung der Außenschicht wurde dadurch hervorgerufen, daß diese Stange zu lange und bei zu hoher Temperatur ausgeglüht wurde.

Eine ähnliche Entkohlung wurde an der Herdplatte eines lange benutzten und danach außer Tätigkeit gesetzten Glühofens in einem Stahlwerk beobachtet. Abb. 56 zeigt das Bruchaussehen dieser

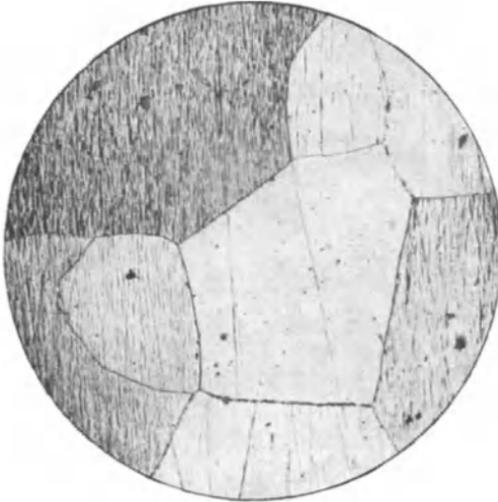


Abb. 57\*. Zu Abb. 56. Obere entkohlte Schicht. Grobe Ferritkristalle.  
 $V = 80$ .

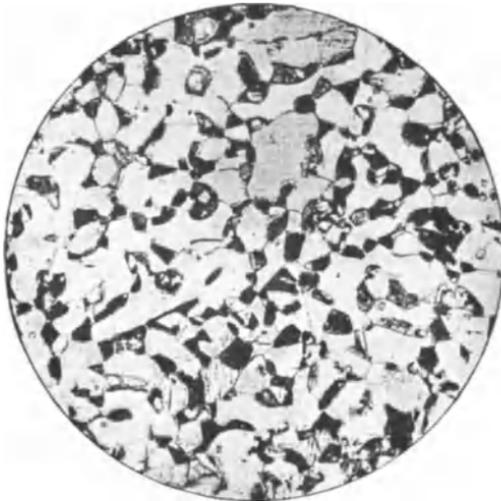


Abb. 58\*. Zu Abb. 56. Untere Schicht. Ferrit und Perlit.  
 $V = 80$ .

Teile der Platte aus kleinen Körnern von Ferrit und Perlit besteht (Abb. 58). Die obere Schicht der Platte ist durch die oxydierende Atmosphäre im Laufe der Zeit vollständig entkohlt und infolge der hohen Glühtemperatur vergrößert worden.

An der Oberfläche entkohlte Stahlstangen bergen für den Werkzeugfabrikanten große Nachteile in sich, besonders dann, wenn solche Stangen zu Werkzeugen mit genau festgelegten Abmessungen verarbeitet werden. Bei der Herstellung von zu härtenden Stahlkugeln, die auf ein genaues Maß abgedreht sind oder bei solchen Gegenständen, die eine ganz harte Oberfläche besitzen müssen, wie bei Feilen, bedeutet die entkohlte Außenschicht das vollständige Versagen des Werkstückes. Wenn die Dicke der entkohlten Schicht übermäßig groß ist, so kann man hieraus zweifellos schließen, daß die Stange noch andere Fehler besitzt, wenn dieselben auch nicht deutlich sichtbar sind. Entweder ist das betreffende Stahlstück zu lange oder bei zu hoher Temperatur im Glühofen gewesen, was nicht nur im Walzwerke, sondern auch später in der Härterei vorkommen kann.

Wenn in der üblichen Weise der Stahl mit entkohlter Oberfläche abgeschreckt wird, so wird sich natürlich die entkohlte Oberfläche nicht härten. Viele Klagen, daß Stahl nicht härten will, können auf entkohlte Oberflächen zurückgeführt werden. Durch Einritzen der Oberfläche mit der scharfen Kante einer Feile kann die weiche entkohlte Außenschicht des gehärteten Stahls leicht erkannt werden. Die Feile hört auf zu ritzen, sobald die normale Härte des Werkzeugs unter der entkohlten Oberfläche erreicht ist. Wenn ein solches Werkzeug zerbrochen wird, wird sich die weiche und zähe äußere Haut ausdehnen und eine Art Lippe an der Bruchstelle bilden, die durch sanftes Hinübergleiten des Fingers über die Bruchfläche leicht entdeckt werden kann (Abb. 59).

In der Praxis findet man häufig die Ansicht verbreitet, daß gewalzter Stahl, von welchem die weiche Oberschicht entfernt worden ist, leicht Risse bekommt. Dies mag gelegentlich der Fall sein, weil die entkohlte und daher zähere Außenschicht der Bildung von solchen Rissen Widerstand leistet, die an der Oberfläche beginnen. Wenn auch diese Ansicht nicht immer richtig ist, so ist es doch das beste, solche Stahlstangen, deren Oberfläche entkohlt ist, zur Herstellung von Werkzeugen nicht zu benutzen.

Außer den erwähnten und mit dem unbewaffneten Auge, mit einer gewöhnlichen Lupe oder mit dem Mikroskop zu erkennenden Mängel an Rohstahlstäben gibt es noch eine Menge anderer

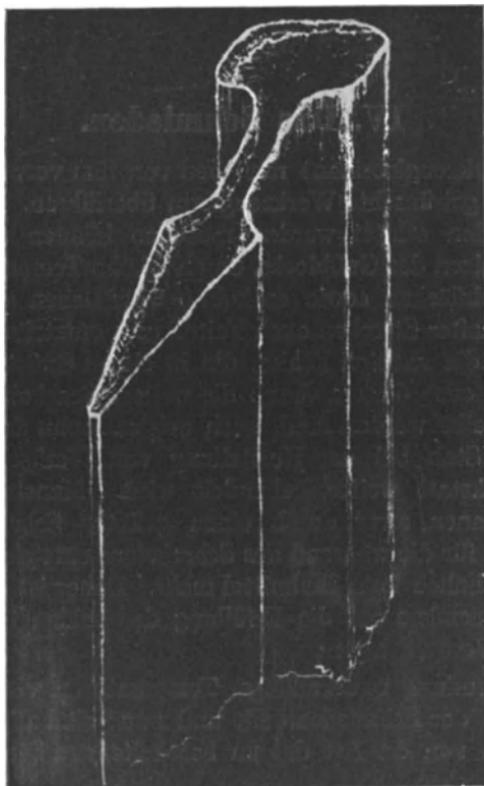


Abb. 59.

Fehler an Rohstählen, die zufälliger Natur sein können und deren Aufzählung des allgemeinen Interesses entbehrt, weil sie nur in sehr seltenen Fällen beobachtet werden.

---

## IV. Das Schmieden.

Der Werkzeugfabrikant muß den von ihm verwendeten Rohstahl in die gewünschte Werkzeugform überführen. Da der Stahl zum Schmieden erhitzt werden muß, so können auch hierbei, wie beim Walzen des Gußblocks, durch falsche Temperaturen grobkörnige Bruchflächen sowie entkohlte Oberflächen auftreten und durch fehlerhaftes Strecken auch Falten usw. entstehen. Außerdem werden sich die meisten Fehler, die in einem Gußstahlblock vorhanden sind oder diesem durch die weitere Bearbeitung (Walzen usw.) einverleibt worden sind, auch zeigen, wenn der zu Stangen ausgewalzte Stab bei der Herstellung von Werkzeugen in der Schmiedewerkstatt weiter behandelt wird. Manche Fehler im Rohstahl können zwar durch einen geübten Schmied beseitigt werden, aber für die während des Schmiedens entstehenden Fehler gibt es gewöhnlich kein Heilmittel mehr. Daher ist beim Schmieden ganz besonders auf die Erfüllung der beiden folgenden Bedingungen Wert zu legen:

1. Anwendung zweckmäßiger Temperaturen von Anfang bis Ende der Schmiedearbeit, und zwar sind diese Temperaturen von der Art des zu bearbeitenden Stahls abhängig zu machen.

Es darf z. B. ein harter Stahl nicht so stark erhitzt werden wie ein weicher Stahl, weil man sonst Gefahr läuft, ihn zu verbrennen, so daß seine weitere Verwendung ausgeschlossen ist. Jedoch gewinnt ein überhitzter Stahl, der, ohne bearbeitet worden zu sein, sich langsam abkühlen kann, fast nahezu alle seine guten Eigenschaften wieder, wenn er nach dem Wiedererhitzen auf eine richtige Temperatur ununterbrochen von dieser Temperatur bis zu dunkler Rotglut geschmiedet wird. Es ist daher klar, daß die Temperatur am Anfang des Schmiedens nicht höher sein darf als nötig ist, damit das Schmieden bei dunkler Rotglut, bis zum Eintritt der Umwandlungszone, beendet werden kann.

Auch darf die Schmiedetemperatur unter keinen Umständen höher sein als diejenige, bei welcher erfahrungsgemäß das Material ruhig bearbeitet werden kann, ohne daß man ein Ausbrechen der Kanten befürchten muß. Wenn das Schmieden nicht in einer Hitze durchgeführt werden kann, was jedoch aus wirtschaftlichen Gründen zu empfehlen ist, dann muß der betreffende Stahl zweimal erhitzt werden, um der vorstehenden Bedingung in bezug auf die Beendigung des Schmiedens zu genügen. Auch darf beim Schmieden von hartem Stahl eine Temperatur von  $1000^{\circ}\text{C}$  und für weichen Stahl eine solche von  $1100^{\circ}\text{C}$  nicht überschritten werden, wobei es gleichgültig ist, wieviel Arbeit auf den betreffenden Gegenstand

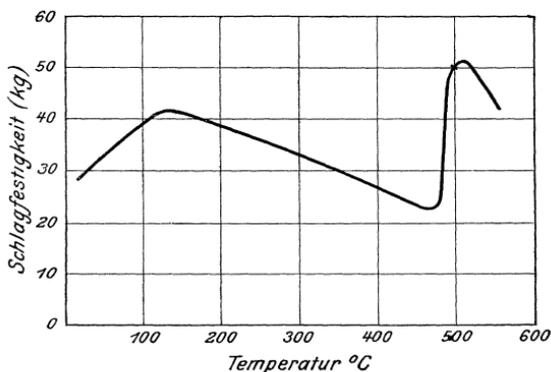


Abb. 60. Abhängigkeit der Schlagfestigkeit von der Temperatur bei einem Werkzeugstahl mit  $1,2\%$  Kohlenstoff. Nach Guillet und Révillon.

verwendet wird. Jedenfalls muß also die Schmiedetemperatur erheblich die kritische Temperaturzone überschreiten.

Etwas unterhalb Rotglühhitze, also bei einer Temperatur von ungefähr  $300 - 325^{\circ}\text{C}$ , sind alle Arten von Werkzeugstählen sehr empfindlich gegen Stoß, und jede mechanische Beanspruchung, wie Hämmern, Umbiegen oder Ausplatten (Strecken) veranlaßt sehr leicht die Bildung von feinen Rissen, die gewöhnlich von dem unbewaffneten Auge nicht erkannt werden können. Diese Eigenschaft des Stahls, bei ungefähr  $300 - 325^{\circ}\text{C}$  zu reißen, ist unter dem Namen Blaubruch bekannt, weil man annimmt, daß der Blaubruch in der unmittelbaren Nahe der Temperatur auftritt, bei welcher die blaue Anlauffarbe erscheint. Eine Kurve, die die Abhängigkeit der Bruchneigung von der Temperatur bei

Anwendung der Schlagprobe an einem Werkzeugstahl mit 1,12% Kohlenstoff erkennen läßt und die von Guillet und Révillon<sup>1)</sup> ausgearbeitet worden ist, ist in Abb. 60 dargestellt. Es geht aus der Kurve hervor, daß mit steigender Temperatur die Schlagfestigkeit eines Stahls bis zu etwa 200° C ansteigt, danach bei weiter steigender Temperatur fällt, um wieder bei beginnender Rotglut anzuwachsen. Die größte Sprödigkeit des Stahls liegt bei ungefähr 475° C, fällt also nicht mit der Blauwärme (300 bis 325° C) zusammen.

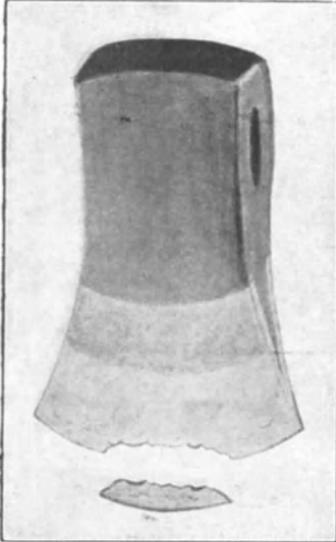


Abb. 61. Sprung in der Schneide eines Beiles.

Die Beispiele, bei denen Fehler im Stahl auf Blaubruch zurückgeführt werden können, sind sehr zahlreich. Beim Schmieden von Meißeln, Beilen, Hobeisen oder irgend einem anderen keilförmigen Werkzeug wird der Schmied, der dem Werkstück ein gutes Aussehen verleihen will, das Ausschmieden noch fortsetzen, wenn das Material nicht mehr rotglühend ist. Eine unmittelbare Folge hiervon ist, daß sich halbmondförmige oder daumennagelähnliche Sprünge (Abb. 61) in dem Werkstück zeigen. Ein solcher Sprung kann auch infolge fehlerhafter Behandlung in der Härterei entstehen,

aber bei dem in Abb. 61 angeführten Beispiel ist es nicht allzu schwierig, die ursprüngliche Ursache festzustellen.

Es ist noch hervorzuheben, daß Blaubruch zuweilen als eine gute Eigenschaft bezeichnet werden kann. Wenn nämlich eine Stahlstange kalt zerbrochen wird, kann ein winziger in dem Bruchstück vorhandener Sprung selbst gründlicher Prüfung entgehen. Wenn dagegen die Stange auf ungefähr 300° C erhitzt und dann zerbrochen wird, wird ein Sprung (von gleicher Ausdehnung) leicht entdeckt werden, weil er bei dieser Temperatur auseinanderklafft

<sup>1)</sup> Mitteilungen des Internationalen Verbandes für die Materialprüfungen der Technik 1909. Auch Metallurgie 1910. S. 343.

und dadurch dem Auge erkennbar wird. Das gleiche gilt von Gußblasen und anderen Fehlerstellen, die aus dem gleichen Grunde auf der Bruchfläche einer auf  $300^{\circ}\text{C}$  erhitzten Stahlstange leicht aufgefunden werden können.

Die vorerwähnten Betrachtungen beziehen sich hauptsächlich auf sehr harten Stahl, der freien Zementit enthält. Die schmalen, nebeneinander liegenden Täfelchen von hartem und brüchigem Zementit geben einen bequemen Weg an, den der Sprung, wenn er einmal begonnen hat, nehmen kann. Daher ist es zu empfehlen, einen Stahl mit über 1% Kohlenstoff nicht zu verwenden, wenn

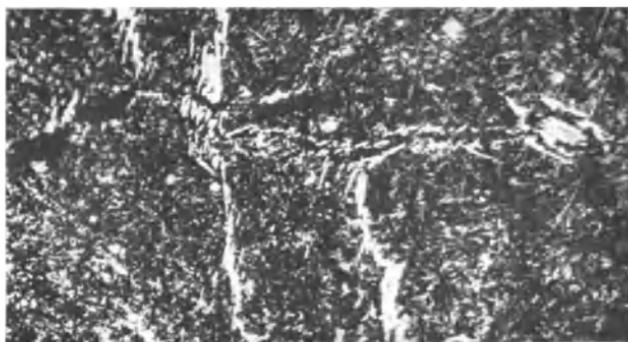


Abb. 62. Sprung in einem übereutektischen Werkzeugstahl in Richtung einer Zementitader.

die nachfolgende Walz- oder Schmiedearbeit aus irgendwelchen Gründen in fast kaltem Zustande erfolgen soll.

Abb. 62 zeigt deutlich, wie die Art der Lagerung des freien Zementits mit dem Laufe des Sprunges zusammenfällt. Bei überhitzten zementithaltigen Stählen bröckelt der Zementit leicht aus, wodurch eine Lockerung des Gefüges eintritt und der Entstehung von Rissen Vorschub geleistet wird. In Abb. 63 sieht man nur noch die schwarze Furche, die der Zementit vorher in dem Stahl eingenommen hatte.

Wenn harter Stahl von kreisförmigem Querschnitt fehlerlos geschmiedet werden soll, dann gehört hierzu ebenso wie zum Härten eines solchen Stabes eine besondere Kunstfertigkeit. Die Stahlwerke gossen früher — zum Teil geschieht es auch heute noch — den ganzen Tiegelinhalt in runde Gußformen, und zwar gingen sie von der Voraussetzung aus, daß der erste Schlag mit

dem Hammer auf den noch heißen Stahlblock allen Glühspan ablösen müßte und ferner, daß der runde Block der Glühspanbildung eine, auf die Masseneinheit bezogene, kleinere Oberfläche darbietet als jede andere Form. Jedoch soll der Werkzeugschmied sich nicht veranlaßt sehen, mit Vorliebe runde statt viereckige Querschnitte zu schmieden. Wenn ein runder Stab verjüngt oder im Durchmesser verkleinert werden soll, muß er zuerst bei der geeigneten Temperatur etwas flachgeschlagen und dann auf die



Abb. 63\*. Überhitzter Stahl mit groben Zementitadern. Die schwarze Furche gibt an, daß Zementit ausgebröckelt ist.

V = 200

annähernd richtige Größe in Form eines Stabes mit quadratischem Querschnitt geschmiedet werden. Darauf, nicht etwa früher, kann ihm ein achteckiger Querschnitt verliehen werden, indem man die Kanten abflacht und dem Stab schließlich die gewünschte Rundung gibt. Wenn der Stab vom Anfang bis zum Ende des Schmiedens seine kreisrunde Form behält, dann ist es sehr wahrscheinlich, daß er in der Mitte rissig wird, oder er wird mindestens beim Härten rissig werden.

Die verschiedenen Abbildungen in Abb. 64, die rissig gewordene Mitten von Stahlstäben darstellen, sind dem Buch von

G. W. Alling: „Points for Buyers and Users of Tool Steel“ entnommen.

Wenn runde Stäbe zu kleineren Querschnitten ausgewalzt werden, so ist die Gefahr, daß fehlerhafte Stellen in den Stäben entstehen, geringer als beim Verjüngen solcher Rundstäbe durch Schmiedearbeit. Die Art, in welcher die auf die Form des Stabes zurückzuführenden Spannungen in dem Stabe verringert oder

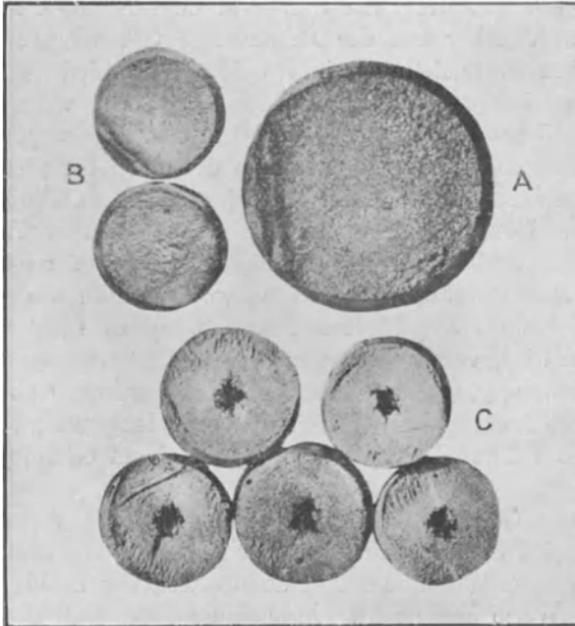


Abb. 64. Stahlstäbe mit rissigen Mitten.

A Bruchfläche des Rohstahls.

B Bruchflächen nach richtiger Verjüngung des Querschnitts von A.

C Bruchflächen nach falscher Verjüngung.

vergrößert werden können, wird eingehender später betrachtet werden.

Als weitere für ein gutes Schmieden unentbehrliche Bedingung gilt:

2. Es ist unbedingt erforderlich, daß das ganze Werkstück gleichmäßig und nicht zu schnell erhitzt, und daß es mit einem geeigneten Hammer bearbeitet wird.

Um diese Bedingung zu erfüllen, muß das Erhitzen größerer Stahlstücke langsam vorgenommen werden, da die bereits vorhandenen inneren Spannungen, die vielleicht durch ungleichmäßiges Abkühlen nach dem Walzen entstanden sind, durch ein zu schnell gesteigertes Erhitzen bis zur Entstehung eines Bruches vergrößert werden können. Bei gewöhnlichem Stangenstahl mit geringem Querschnitt ist eine Bruchgefahr durch zu rasches Erhitzen kaum zu befürchten und wird überhaupt nicht eintreten können, wenn der Stahl vor dem Erhitzen ausgeglüht worden war. Aber bei der Behandlung von Werkzeugen, die zur völligen Fertigstellung eines weiteren Schmiedens bedürfen, kann unvorsichtiges und zu schnelles Erhitzen, wenn ein Teil des Werkstückes sich oberhalb der Umwandlungstemperatur, ein anderer sich dagegen noch unterhalb derselben befindet, die Ursache dazu werden, daß in der Mitte (unter hellem Klingen) Risse entstehen. Dieser Fehler kann leicht bei sonst regelrecht geschmiedeten Staben aus Schnelldrehstahl infolge schneller Erhitzung unter Rotglut hervorgerufen werden, und, wie später gezeigt ist, kann ein gehärtetes Stück, wenn es nicht vorsichtig angelassen wird, von selbst in mehrere Teile zerspringen. Daher ist es notwendig, jedes Stahlstück, ganz besonders aber solche Stücke mit kreisrundem Querschnitt, sehr langsam zu erhitzen, wenn eine solche Erhitzung aus irgend einem Grunde notwendig wird.

Ist das Gewicht des Hammers zu klein, so erstreckt sich die Kraft des Schlages nicht bis zur Mitte des Werkstückes und folglich werden der innere und äußere Teil des Stahls nicht in derselben Weise ausgereckt. Ähnlich liegt der Fall dann, wenn bei Anwendung eines geeigneten Hammers die Mitte des Werkstückes kalter ist als der äußere Teil. Der äußere Teil dehnt sich dann unter dem Druck des Hammers bedeutend mehr aus und der innere Teil wird entweder aufgerissen oder, wenn er genügenden Widerstand besitzt, wird die weichere Außenschicht stärker ausgereckt als der Kern.

## V. Das Ausglühen und Überhitzen.

Kein Werkzeug, wie einfach es auch in seiner Gestalt sein mag, ist nach dem Schmieden in einem gebrauchsfertigen Zustande. Je formenreicher, verwickelter die Werkzeuge sind, um so leichter können in denselben durch die Art der Wärmebehandlung Fehler hervorgerufen werden. Das Auftreten eines grobkörnig-kristallinen Gefüges in den stärkeren Teilen eines Werkzeuges ist gewöhnlich einer fehlerhaften Behandlung während des Schmiedens zuzuschreiben. Das gleichzeitige Auftreten eines grobkörnigen und feinkörnigen Gefüges an verschiedenen Stellen des Werkzeuges gibt aber stets Veranlassung zur Entstehung von Spannungen, die durch Ausglühen des Werkzeuges beseitigt werden müssen. Das Ausglühen von Werkzeugen wird zuweilen auch dann notwendig, wenn dieselben unmittelbar aus dem ausgeglühten Rohstahl gefrast oder gehobelt worden sind. Denn durch die bei diesen mechanischen Arbeiten erzeugte Wärme können in Stählen Spannungen ebensogut ausgelöst werden, wie durch eine fehlerhafte Wärmebehandlung während des Schmiedens oder Härtens. Die Seite einer Reibahle, die mit einem stumpfen Werkzeug gefrast worden ist, wird stärker als die übrigen Seiten verzerrt, als wenn sie mit einem scharfen Werkzeug bearbeitet wird. Beim Harten wird sich eine solche Reibahle dementsprechend werfen, wenn sie nicht vorher ausgeglüht wird. Ein ähnliches Verhalten wird ein solches Werkzeug zeigen, das auf der Drehbank bearbeitet wird, wenn von einer Seite mehr Material abgedreht worden ist als von der anderen. In wie großem Umfange Verzerrungen in einem Stahl durch Bearbeitung mit einem stumpfen Werkzeug hervorgerufen werden können, geht aus Abb. 65 hervor, aus der zu erkennen ist, daß der dunkle Perlit durch die falsche mechanische Bearbeitung an der Oberfläche des Stahls Langverzerrungen von erheblicher Ausdehnung erlitten hat.

Solche beim Hobeln oder Fräsen mit stumpfen Werkzeugen hervorgerufenen Gefügeverzerrungen treten leichter in weichem als in hartem Stahl auf, weil bei weichem Stahl gröbere Späne durch das Hobeln oder Fräsen abgerissen werden. Durch sorgfältiges Ausglühen des Stahls können auch diese durch Gefügeverzerrungen hervorgerufenen Spannungen beseitigt werden. Das Ausglühen besteht darin, daß man den Stahl auf die niedrigste Temperatur, die zum Härten verlangt wird, erhitzt, und daß man ihn bei dieser Temperatur eine Zeitlang, einige Minuten bis zu

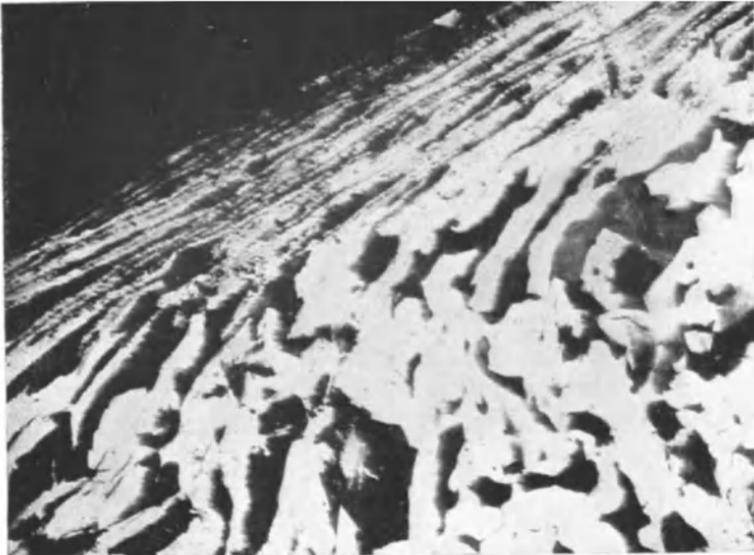


Abb. 65. Längsverzerrungen auf der Oberfläche von weichem Stahl.

mehreren Stunden, je nach der Größe des Gegenstandes, erhält. Das erhitzte Stück wird dann so lange gleichmäßig und langsam abgekühlt, bis es kaum noch rotglühend ist.

Wenn z. B. ein Stück Stahl mit 1% Kohlenstoff ausgeglüht werden soll, um es für die Bearbeitung weicher zu machen oder um Spannungen zu beseitigen, so muß es auf mindestens  $720^{\circ}\text{C}$  erhitzt werden, denn, wie früher gezeigt wurde, liegt die Umwandlungstemperatur bei einem Stahl mit 1% Kohlenstoff bei  $720^{\circ}\text{C}$ . Um sicher zu gehen, daß diese Temperatur auch wirklich erreicht worden ist, muß die Temperaturmessung dort vorgenom-

men werden, wo der stärkste Teil des betreffenden Stahlstückes sich befindet, also in der Regel in der Mitte der Ausglühkiste. Eine höhere Temperatur als  $740-760^{\circ}\text{C}$  ist zwecklos, ja sogar schädlich. Die Hitze muß dann abgestellt werden und die Glühkiste mit Inhalt einer langsamen Abkühlung überlassen bleiben. Daß ein Stahl mit einem geringeren Kohlenstoffgehalte als 1% bei einer entsprechend höheren Temperatur ausgeglüht werden muß, ist nach den früheren Ausführungen erklärlich.

Wenn der Stahl möglichst weich gemacht werden soll, dann gelingt dies um so besser, je langsamer er bis zu dunkler Rot-



Abb. 66\*. Gefüge eines überhitzen Zahnrades (Ritzels) aus Kohlenstoffstahl.  
V = 200.

glut abgekühlt wird. Die Art und Weise des Abkühlens unterhalb dieser Temperatur beeinflusst die Harte oder Weichheit des Stahls nicht. Wenn nur die infolge des Schmiedens entstandenen Spannungen beseitigt werden sollen und der Querschnitt des betreffenden Gegenstandes von einfacher und symmetrischer Gestalt ist, dann kann er, sobald er aus dem Glühofen gezogen ist, an der Luft abgekühlt werden, muß aber vor Luftzug geschützt werden, um eine ungleichmäßige Abkühlung zu vermeiden. Wichtig ist ferner, daß der Stahl beim Ausglühen nicht solchen Temperaturen (über  $900^{\circ}\text{C}$ ) ausgesetzt wird, die eine Überhitzung des Stahls herbeiführen können. Durch das Überhitzen wird das Korn außerordentlich vergrößert (Abb. 66), und es ist nicht immer leicht,

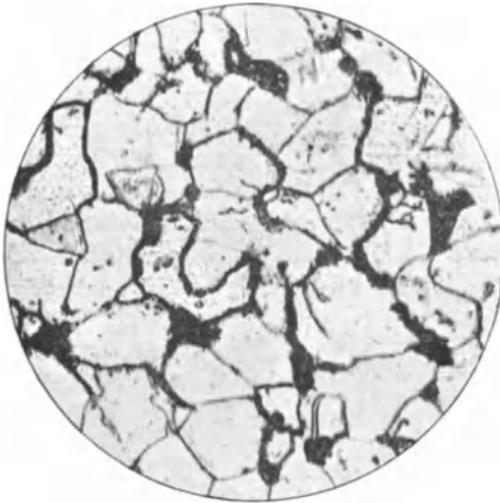


Abb. 67\*. Überhitztes Flußeisen mit 0,13% Kohlenstoff. Grobes Gefüge von Ferrit und Perlit.  
V = 200.



Abb. 68\*. Überhitzter Kohlenstoffstahl mit 0,55% Kohlenstoff.  
V = 200.

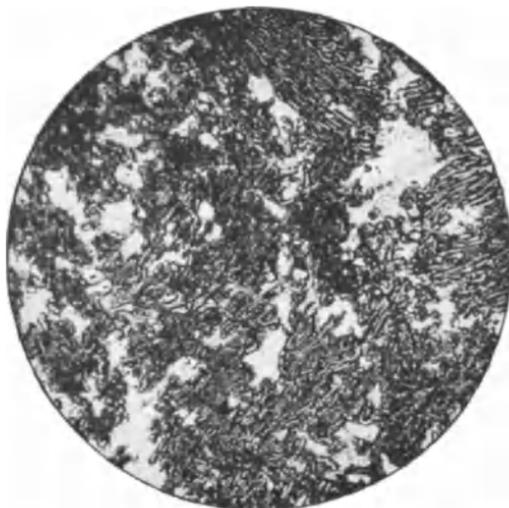


Abb. 69\*. Überhitzter Kohlenstoffstahl mit 0,68% Kohlenstoff.  
V = 200.

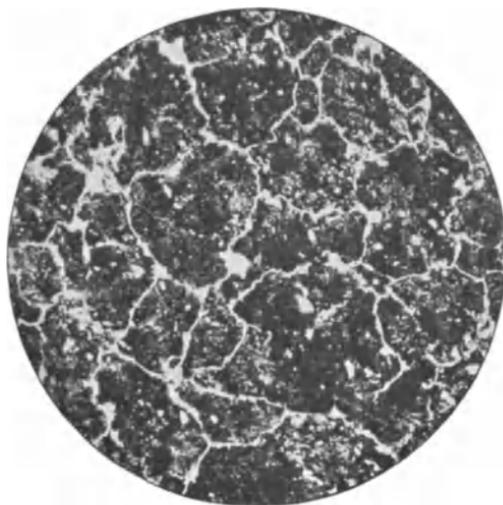


Abb. 70\*. Überhitzter Kohlenstoffstahl mit 1,23% Kohlenstoff.  
V = 200.



Abb. 71\*. Überhitzter Kohlenstoffstahl mit 1,54% Kohlenstoff. Grober Zementit und Perlit.  
V = 200.



Abb. 72\*. Überhitzter Kohlenstoffstahl mit 1,68% Kohlenstoff, mit heißer Natriumpikratlösung geätzt. Grober Zementit.  
V = 200.

durch eine geeignete Behandlung den überhitzten Stahl wieder gebrauchsfähig zu machen. Ein anschauliches Bild von der Kornvergrößerung überhitzter Stähle geben die Abb. 67—71. Es sind dies dieselben Stähle, deren normales Kleingefüge in den Abb. 5, 8—9, 12 und 14 dargestellt ist. In Abb. 72 ist das Kleingefüge eines überhitzten Stahls mit 1,68% Kohlenstoff wiedergegeben, das durch Ätzung mit Natriumpikrat sichtbar gemacht wurde. Nur der grobe Zementit hat eine Schwarzfärbung angenommen. Um das durch Überhitzung entstandene grobkörnige Gefüge, z. B. bei einem Stahl mit 1% Kohlenstoff, zu beseitigen, muß der Stahl auf ungefähr 770° C erhitzt, dann zunächst auf 600° C abgekühlt und vor dem endgültigen Abkühlen wieder auf 770° C erhitzt werden. Wenn das schließliche Abkühlen durch den ganzen Gegenstand hindurch gleichmäßig stattfinden kann, dann zeigt ein abgeschlagenes Stück nicht nur das feinste Korn, das der Stahl im normalen ungehärteten Zustande annehmen kann, sondern das Material ist auch fast vollkommen frei von solchen Neigungen, die bei dem nachfolgenden Härten die Ursache zu unangenehmen Fehlern werden können. Bei einem weichen Stahl muß das durch Überhitzung entstandene grobkörnige Gefüge durch Ausglühen bei einer höheren Temperatur mit nachfolgendem Durchschmieden beseitigt werden.

Ist ein Stahl irrtümlich bis zu Temperaturen von 1200° C und darüber erhitzt worden, dann verändert er sich unter Funkenprühen, er verbrennt. Er ist dann für alle weiteren Verwendungszwecke unbrauchbar geworden, kann also durch Ausglühen usw. sein normales Gefüge nicht wiedergewinnen, er kann nicht regeneriert werden.

Das Weichmachen des Stahls durch Erhitzen auf eine Temperatur, die unterhalb derjenigen liegt, bei welcher er sich durch Abschrecken noch härten läßt, ist weiter unten besprochen. Eine solche Behandlung bei niedriger Temperatur verbessert das durch Überhitzung entstandene grobkörnige Kleingefüge nicht. Dagegen verliert ein gehärteter Stahl durch Ausglühen bei einer Temperatur, die unterhalb der Härtetemperatur liegt, einen Teil seiner Härte, und zwar ohne daß die Art des Abkühlens des so erhitzten Stahls von Einfluß ist. Dies ist besonders bei solchem Stahl zu beobachten, der Nickel und Chrom oder bedeutende Mengen von Mangan enthält, d. h. bei solchen Stahlsorten, die eine Neigung für Selbsthärte aufweisen. Drei Stücke von

Nickel-Chromstahl, die auf 700, 750 und 800° C zwei Stunden lang erhitzt und dann während 30 Stunden einer gleichmäßigen Abkühlung überlassen blieben, hatten folgende mechanische Eigenschaften:

Abgekühlt von	Elastizitätsgrenze kg/qmm	Zerreißfestigkeit kg/qmm	Dehnung in % auf 50 mm Melange	Querschnittsverminderung %	Brinellsche Hartezahl
700° C	—	73	28,0	62,6	196
750° C	42	70	30,0	65,8	170
800° C	44	80	20,5	54,6	217

## VI. Das Härten des Stahls.

Das Härten ist bei der Herstellung von Werkzeugen die wichtigste Arbeit. Die Theorie des Härtens läßt sich in wenigen Sätzen darlegen, die Praxis des Härtens dagegen kann nur durch jahrelange Übung erworben werden.

Ein Stück Stahl ist dann am besten zum Härten geeignet, wenn es ausgeglüht worden ist. Das Erhitzen formenreicher Werkzeuge auf die entsprechende Härtetemperatur muß allmählich stattfinden und man muß dafür sorgen, daß Ecken, schneidende Kanten und andere dünne Teile weder überhitzt noch entkohlt werden. Diese Angaben enthalten eigentlich nichts Neues, sie geben aber die Hauptpunkte an, die beim Härten zu beachten sind. Die beste Art eines Härteofens ist diejenige, bei welcher eine ausreichend große Fläche des Ofens auf jede gewünschte gleichmäßige Temperatur gebracht werden kann. Ob man zu diesem Zweck einen Flammofen, ein Bad von geschmolzenem Blei, ein Salzbad oder einen Muffelofen wählen wird, hängt von den örtlichen Verhältnissen ab.

Ein über die Härtetemperatur erhitztes Stück Stahl erleidet in bezug auf seine Abmessungen gewisse Veränderungen, wenn es plötzlich abgekühlt wird (siehe S. 38). Die beim schnellen Abkühlen des erhitzten Stahls hervorgebachten Volumenänderungen in den äußeren und inneren Schichten sind verschieden, und daher müssen in jedem Stück eines gehärteten Stahls, besonders wenn dasselbe ziemlich groß ist, Spannungen auftreten. Wenn aber zu den unvermeidlichen Spannungen noch infolge von Überhitzung ein grobkörniges Gefüge hinzukommt, dessen natürliche Festigkeit gering ist, dann ist die günstigste Gelegenheit zur Entstehung von Sprüngen oder Brüchen entweder während oder kurz nach dem Abschrecken gegeben. Hieraus folgt mit zwingender Notwendigkeit, daß alle Arten Werkzeuge bei der zulässig niedrigsten Temperatur, die für den verwendeten Stahl geeignet

ist, gehärtet werden müssen, und die ganze Wissenschaft und Kunstfertigkeit des Härtens beschränkt sich darauf, diese Temperatur in regelmäßiger und gleichartiger Weise zu erreichen und das erhitzte Werkzeug mit der durch Größe, Form, Verwendungszweck usw. bedingten Rücksicht abzuschrecken.

Gleichmäßige Erhitzung ist viel wichtiger als eine genaue Festlegung der richtigen Härtetemperatur innerhalb weniger Grade. Eine gleichmäßige Erhitzung kann nur in einem geeigneten Härteofen erzielt werden. Das Salzbad kommt der idealen Art eines Härteofens am nächsten und muß insbesondere für kostspielige Werkzeuge (aus Schnelldrehstahl) empfohlen werden. Der Bleitiegel ist ebenfalls ausgezeichnet; er erhitzt wegen der größeren Wärmeleitfähigkeit des Bleies die Gegenstände schneller als ein Salzbad und muß für gewisse Zwecke dem Salzbadofen vorgezogen werden. Ein flachherdiger, mit Gas geheizter Härteofen ist weniger zuverlässig als irgend einer von den erwähnten Öfen, wenn er auch für manche Zwecke sehr bequem zu verwenden ist. Wenn Muffelöfen benutzt werden, dann ist die Temperatur bei gußeisernen oder Stahlmuffeln gleichmäßiger als bei Muffeln aus feuerfestem Material. Die ungünstigste Form eines Härteofens ist das gewöhnliche Schmiedefeuer, obgleich ein erfahrener Härter eine ganz brauchbare Arbeit damit leisten wird, wenn nichts besseres zur Verfügung steht.

Es ist schwierig, in irgend einer bekannten Form des Härteofens Werkzeuge von sehr verschiedenem Querschnitt durch ihre ganze Masse hindurch auf denselben Grad anzuwärmen. Wenn diese Tatsache in Verbindung mit den kritischen Kontraktionsänderungen, die auf S. 41 beschrieben sind, berücksichtigt wird, dann ergibt sich ohne weiteres, daß bleibende Formänderungen bei Werkzeugen von bedeutender Größe und wechselndem Querschnitt unvermeidlich sind, ganz abgesehen von der Art des Verziehens, die auf das Gewicht des Gegenstandes oder seine nicht allseitig unterstützte Lage im Härteofen zurückzuführen ist. Eine Verzerrung, die nach dem Abschrecken eines Werkzeuges deutlich sichtbar wird, oder sogar ein Riß in dem Werkzeug sind in den meisten Fällen den Wirkungen der kritischen Kontraktion während des Erhitzens zuzuschreiben.

Die niedrigste Temperatur, bei welcher noch eine Härtung des Stahls durch plötzliche Abkühlung eintritt, kann leicht mit Hilfe des auf S. 237 beschriebenen Gerätes in Form einer Kurve,

ähnlich derjenigen in Abb. 20, bestimmt werden. Wenn auch die Kenntnis der niedrigsten Härtetemperatur wertvoll ist, so darf doch nicht angenommen werden, daß die besten Härtungsergebnisse unbedingt dadurch zu erzielen sind, daß man das Werkzeug abschreckt, nachdem es nicht höher als einige Grade über die niedrigste zulässige Härtetemperatur erhitzt worden ist. Sowohl der Härtegrad als auch die Tiefe, bis zu welcher ein Werkzeug gehärtet wird, können sehr verschieden in zwei Werkzeugen ausfallen, von denen das eine bei der theoretisch niedrigsten Temperatur, die von der Haltepunktstkurve angegeben wird, und das andere bei einer um ungefähr  $30-40^{\circ}\text{C}$  höheren Temperatur abgeschreckt wurde.

Aus verschiedenen Gründen muß die durch die thermische Kurve ermittelte Umwandlungstemperatur eines Stahls beim Härten der aus ihm hergestellten Werkzeuge etwas überschritten werden. Diese Gründe sind folgende:

1. Die Temperatur, bei welcher die Umwandlung im Stahl eintritt, ändert sich ein wenig mit der Art des Erhitzens, besonders bei großen Werkzeugen, die längere Zeit als kleinere gebrauchen, um an allen Stellen die gleiche Temperatur anzunehmen.
2. Die Umwandlung im Stahl ist wahrscheinlich noch nicht ganz beendet, sobald die Erhitzungskurve in ihre ursprüngliche Richtung wieder zurückkehrt.
3. Die Geschwindigkeit der Abkühlung beim Abschrecken eines erhitzten Werkzeuges nimmt zu. Daher muß das zu härtende Werkzeug vor dem Abschrecken höher erhitzt werden, als die thermische Kurve angibt, damit die Abkühlungsgeschwindigkeit beim Abschrecken ihren Höhepunkt dann erreicht hat, wenn die kritische Umwandlungstemperatur eintritt.

Die praktische Erfahrung hat ergeben, daß es zweckmäßig ist, den Stahl etwa  $20-40^{\circ}\text{C}$  höher zu erhitzen, als es nach der Erhitzungskurve nötig erscheint, und daß hierdurch bei der Härtung Unregelmäßigkeiten vermieden werden, die auf die unter 1—3 angeführten Gründe zurückzuführen sind. Bei dieser höheren Temperatur gehen die Gefügeumwandlungen auch schneller und vollständiger vonstatten.

Die übliche Härtepraxis ist die, den Stahl aus der höchsten zulässigen Temperatur abzuschrecken. In diesem Falle braucht

man sich dann mit dem Abschrecken nicht zu beeilen, da die Temperatur noch wesentlich fallen muß, bevor diejenige niedrigste Temperatur erreicht ist, bei welcher noch eine vollkommene Härtung des Stahls möglich ist (Punkt *R* in Abb. 20). Viele Härter halten den erhitzten Stahl einige Sekunden lang in der Luft, bevor sie ihn abschrecken, und bezeichnen diese Praxis als „Härten bei fallender Hitze“. Durch dieses Härten bei fallender Hitze wird dem Werkzeug kein Schaden zugefügt, solange alle Teile des Werkzeuges bei Beginn des Abschreckens noch dieselbe Temperatur besitzen. Diese Forderung wird aber dann nicht mehr erfüllt, wenn z. B. dicke Werkzeuge weit über die niedrigste Hartetemperatur erhitzt und dann bis zu dieser nach dem Verfahren des Hartens bei fallender Hitze vor dem Abschrecken abgekühlt werden. Einen entschiedenen Vorteil bringt dagegen das Verfahren dadurch, daß durch die verhältnismäßig langsame Abkühlung in der Luft vor dem Abschrecken die durch die Erhitzung hervorgerufenen Volumenänderungen möglichst beseitigt und dadurch die Spannungen im Werkzeug verringert werden. Wegen dieses Vorteils ist in den letzten Jahren in der Härterei ein Verfahren eingeführt worden, durch welches die Bruchgefahr bei formenreichen Werkzeugen fast vollständig beseitigt und die natürliche Brüchigkeit eines Werkzeuges gewöhnlich vermindert wird, ohne daß zugleich seine Härte beeinträchtigt wird. Dieses Verfahren besteht darin, daß man das schon in einem Härteofen auf eine Temperatur von ungefähr  $780^{\circ}\text{C}$  erhitzte Werkzeug in einen zweiten Härteofen bringt, in dem es bei einer Temperatur verbleibt, die etwa  $20^{\circ}\text{C}$  über dem Rekaleszenzpunkt, also ungefähr bei  $700^{\circ}\text{C}$  liegt. Die passendste Form für den zweiten Härteofen ist ein Salzbad, dessen Temperatur leicht und fast ohne Kosten durch die Abhitze der Werkzeuge erhalten werden kann, wenn letztere sich in dem Bad von  $780^{\circ}\text{C}$  abkühlen. Mit Bezug auf den erwähnten Zweck sind auf S. 205 verschiedene Formen des Salzbad-Härteofens besprochen worden.

Das folgende Verfahren zur Bestimmung des in einem gewöhnlichen Schmiedefeuer erzielten Grades derjenigen Rotglut, bei welcher der feinkörnigste Bruch beim Stahl durch Abschrecken erzielt wird, ist von Metcalf angegeben worden.

Nach diesem Verfahren wird eine Stahlstange von 15–20 mm Stärke alle 15 mm, im ganzen etwa 8mal, von einem Ende aus eingekerbt. Der eingekerbte Teil der Stange wird dann in einem

Schmiedefeuer erhitzt, bis das äußerste Ende der Stange unter Funkensprühen zu verbrennen beginnt. Nach rückwärts nimmt die Hitze allmählich ab, und zwar so, daß der letzte Abschnitt der Stange ohne Farbhitze ist. Nach dem Abschrecken in Wasser wird der Stahl sorgfältig abgetrocknet und bei jeder aufeinanderfolgenden Kerbe (in einem Schraubstock) zerbrochen. Das erste und vielleicht auch noch das zweite Stück werden sehr leicht abbrechen, wenn sie nicht bereits beim Abschrecken abgesprungen sind, und einen grobkörnigen, auffallend weißen Bruch aufweisen. Die folgenden Stücke werden weniger leicht abbrechen und in ihrem Bruchgefüge allmählich feiner werden, bis das glatte, samtartige, mattglänzende Aussehen eines gut gehärteten Stahls erreicht ist. Hierauf wird bis zum ungehärteten Teil herab der Bruch grobkörniger. In Abb. 73 sind die Bruchstellen eines so

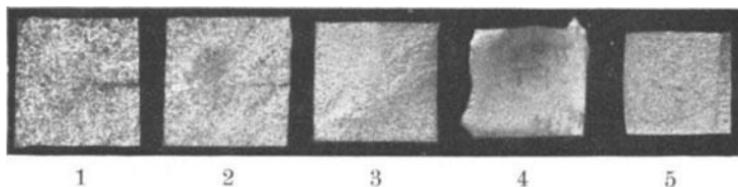


Abb. 73\*. Metcalfs Härtingsprobe zur Bestimmung der richtigen Härtingstemperatur. Nat. Größe.

behandelten Werkzeugstahls mit 1,1% Kohlenstoff in natürlicher Größe wiedergegeben.

Die Rotfärbung, die bei dem heißen Stabe gerade an der Stelle vorhanden war, wo später der beste Bruch gefunden wurde (Stelle 4 in Abb. 73), ist im Gedächtnis zu behalten. Der Versuch ist natürlich nur dann wertvoll, wenn alle Werkzeuge aus diesem Stahl unter denselben Bedingungen erhitzt werden. Bei der Beurteilung der Rotfärbung spielt auch die Beleuchtung der Härtereieine gewisse Rolle. Die Metcalf-Prüfung ist deshalb empfehlenswert, weil sie mit geringer Mühe eine Reihe von Brüchen liefert, die die Wirkung verschiedener Härtetemperaturen auf den Stahl erkennen lassen. Die Bruchstücke werden zweckmäßig in einer mit Glas bedeckten Schachtel aufbewahrt und dienen dann als Standardmuster, mit dem die Brüche solcher Werkzeuge verglichen werden können, die schlecht gehärtet sind. Wenn der Härter diese Standardmuster hergestellt hat, so kann er sich in beliebigen Zwischenräumen davon überzeugen, ob die von ihm

gehärteten Werkzeuge den richtigen Bruch aufweisen, obwohl allerdings das Bruchgefüge nicht allein von der Höhe der Temperatur, sondern auch von der Zeitdauer abhängig ist, während welcher der Stahl erhitzt wurde.

Eine Abänderung der Metcalf-Prüfung ist von Alling beschrieben worden. Diese Prüfung ist nicht so leicht wie die



Abb. 74. Allings Härtingsprobe zur Bestimmung der richtigen Härtingstemperatur. Nat. Größe.

Metcalfsche Probe auszuführen, aber sie ist bei weitem lehrreicher. Man bringt den Stahl (ein Stück von 100 mm  $\times$  30 mm im Querschnitt) in die Einspannvorrichtung einer Fräsmaschine in eine solche Stellung, daß der Fräser nahezu ein Viertel an einem Ende einschneidet und ungefähr drei Viertel an dem anderen. Hierauf schneidet man die Fräserfurche V-förmig aus. Alsdann setzt man das Stahlstück einer allmählich nachlassenden Hitze aus, ähnlich wie bei der Metcalfschen Prüfung, indem man dafür

sorgt, daß die Überhitzung an dem Ende vor sich geht, das am wenigsten von dem Fräser eingeschnitten wurde. Nach dem Abschrecken reibt man das Stahlstück vollkommen trocken. Wenn jetzt ein Keil in die Furche getrieben wird, dann können die beiden Hälften durch einige kräftige Schläge voneinander getrennt werden, die ein Bruchgefüge bloßlegen, welches die Wirkung der verschiedenen Temperaturen zeigt, bis zu welchen der Stahl erhitzt worden ist. Abbildungen von Stahlstücken, die auf diese Weise hergestellt und zerbrochen wurden, sind in Abb. 74 wiedergegeben.

Ist irgend ein Mittel zur Bestimmung und Überwachung der richtigen Härtetemperatur nicht vorhanden, so besteht das zuverlässigste Verfahren zur Ermittlung dieser Temperatur darin, durch Versuche an einigen halbzölligen Stäben des zu verarbeitenden Stahles von neuem den gewünschten Farbenton der Rotglühhitze dem Gedächtnis einzuprägen, so oft wie die Bedingungen, die den Farbenton des heißen Stahls beeinflussen, sich ändern. Nach dem Abschrecken werden die Stäbe mit einer Feile geprüft und zerbrochen. Dennoch ist dieses Verfahren im besten Falle nur ein Notbehelf, aber wenn der Härter, der es anwendet, Geduld und Beobachtungsgabe besitzt, wird er, soweit Temperaturen bis zu einer gewissen Höhe in Betracht kommen, kaum Irrtümer begehen.

Die niedrigste Temperatur, bei welcher ein Stück gewöhnlicher, etwa 1% Kohlenstoff enthaltender Stahl gehärtet werden kann, ist ungefähr  $740^{\circ}\text{C}$ . Der Stahl, der mindestens bis zu dieser Temperatur oder etwas höher erhitzt wird, kann bis auf  $700-710^{\circ}\text{C}$  abgekühlt werden und wird sich dann noch immer beim Abschrecken härten. Wenn ein Stahl 2 oder 3% Chrom oder 3 oder 4% Wolfram (Magnetstahl) enthält, dann liegt seine niedrigste Härtetemperatur bei  $800^{\circ}\text{C}$ . Man kann daher Stahl mit 1% Kohlenstoff und Stahl mit 2—3% Chrom oder 3—4% Wolfram dazu benutzen, die drei Temperaturgrade in dem Härteofen:  $700$ ,  $750$  und  $800^{\circ}\text{C}$  festzustellen. Von kleinen Streifen der genannten Stahlsorten, wie sie zur Herstellung von Tischmessern oder kleinen Feilen dienen, schneidet man  $50-75\text{ mm}$  lange Stücke ab, legt sie in den Härteofen, und wenn sie die Hitze des Ofens angenommen haben, schreckt man sie ab. Wenn der Chromstahl sich härtet, so ist die Temperatur  $800^{\circ}\text{C}$  oder darüber, wenn der Kohlenstoffstahl sich härtet und der Chrom-

stahl nicht, so ist die Temperatur nicht  $800^{\circ}\text{C}$ , sondern  $750^{\circ}\text{C}$  oder mindestens  $740^{\circ}\text{C}$ . Härtet der Kohlenstoffstahl sich nicht und wird er dann absichtlich heißer gemacht als die Temperatur des Ofens zuläßt, kühlt man ihn dann bis zur Temperatur des Härteofens ab und wird weiter beim Abschrecken gefunden, daß er sich härtet, dann ist die Temperatur  $700^{\circ}\text{C}$  oder etwas darüber, aber nicht  $750^{\circ}\text{C}$ . Auf diese Weise kann man leicht ohne besondere Meßgeräte die Temperatur des Härteofens innerhalb des Temperaturbereichs von  $700-800^{\circ}\text{C}$  ermitteln.

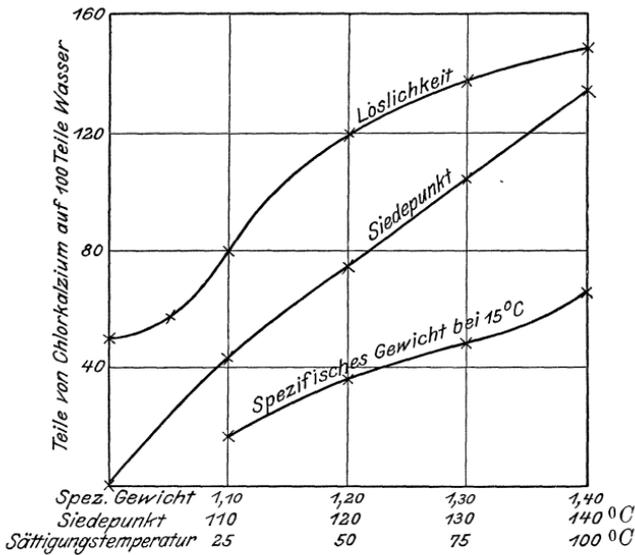


Abb. 75. Physikalische Eigenschaften wäßriger Lösungen von Chlorcalcium.

Gleichmäßige Abkühlung ist ebenso wichtig wie gleichmäßige Erhitzung der verschiedenen Teile eines Werkzeuges. Ersteres ist mitunter sehr schwierig und wegen der Schnelligkeit, mit welcher das Abkühlen beim Abschrecken vor sich gehen muß, um den Stahl überhaupt zu härtens, fast unmöglich.

Fast jeder gewünschte Härtegrad kann durch Abschrecken in Wasser erzielt werden. Das Wasser kann ganz kalt sein, wenn das Werkzeug von einfacher Gestalt ist und Glashärte verlangt wird, jedoch zu einer weniger energischen Härtewirkung und für verwickelte Werkzeuge kann das Härtewasser bis auf  $30$  oder sogar bis auf  $40^{\circ}\text{C}$  erwärmt werden. Wenn indessen das Wasser

vorher mit Chlorkalzium gesättigt und hierdurch der Siedepunkt dieser Härteflüssigkeit bedeutend erhöht wurde, so kann das Bad nötigenfalls auf 70–80° C erhitzt werden. Auf diese Weise kann man mit wäßrigen Salzlösungen dieselben guten Ergebnisse beim Härten erhalten wie mit Öl, obgleich aus Gründen der Bequemlichkeit Öl zum Abschrecken gewöhnlich vorgezogen wird. Die physikalischen Eigenschaften wäßriger Lösungen von Chlorkalzium, die für den Härter Interesse haben, sind in Abb. 75 dargestellt.

Die Wirkungen der als Abschreckmittel verwendeten Flüssigkeiten sind auf folgende Eigenschaften derselben zurückzuführen: Wärmeleitungsvermögen, von welchem die Verteilung der aus dem heißen Stahl aufgenommenen Wärme in dem ganzen Abschreckbade abhängt; Verdampfungsfähigkeit, welche die Art der Dampfbildung um den heißen Stahl herum bestimmt; Zähflüssigkeit, von welcher die Geschwindigkeit zwischen den verschiedenen Teilen der Flüssigkeit und damit auch die Art der Abkühlung des Stahls abhängt; spezifische Wärme, die einen Maßstab für die Wärmemenge abgibt, die von einem bestimmten Volumen der Flüssigkeit aufgenommen werden kann, wenn ihre Temperatur um 1° C steigt; in Ölen die Schnelligkeit, mit welcher ein Überzug von verbranntem Öl über große und daher nicht schnell abzukühlende Gegenstände gebildet wird. Nach Benedicks<sup>1)</sup> ist die Abkühlungsfähigkeit einer Flüssigkeit hauptsächlich von ihrer latenten Verdampfungswärme abhängig. Die spezifische Wärme, Wärmeleitfähigkeit und Zähflüssigkeit besitzen erst in zweiter Linie Bedeutung. Diese Behauptungen scheinen sich nur auf Laboratoriumsversuche zu stützen, und da sie nicht gänzlich mit den Ansichten erfahrener Härter übereinstimmen, erscheint es wünschenswert, sie durch verschiedene Arten von Härtungsversuchen nachzuprüfen, die an Stahlproben von verschiedenen Abmessungen und unter den bei praktischen Härtungen üblichen Bedingungen angestellt werden.

Manche früheren irrigen Anschauungen über die Wirkungsweise verschiedener Härteflüssigkeiten wurden von Le Chatelier widerlegt. Er erhitzte kleine mit einem Tonstopfen verschlossene Zylinder aus Eisen, in denen ein Thermoelement untergebracht war. Beim Abschrecken der Eisenzylinder in verschiedenen

---

1) Metallurgie, 1908, S. 340.

Flüssigkeiten beobachtete er die Zeiten, die gebraucht wurden, um eine Abkühlung von  $700^{\circ}\text{C}$  bis auf  $100^{\circ}\text{C}$  hervorzubringen. Die Ergebnisse dieser Versuche, die Haedicke zusammengestellt hat, sind in Abb. 76 wiedergegeben<sup>1)</sup>.

Das am wenigsten erwartete Ergebnis beim Abschrecken zeigte Quecksilber (Kurve B). Seine große Wärmeleitfähigkeit,

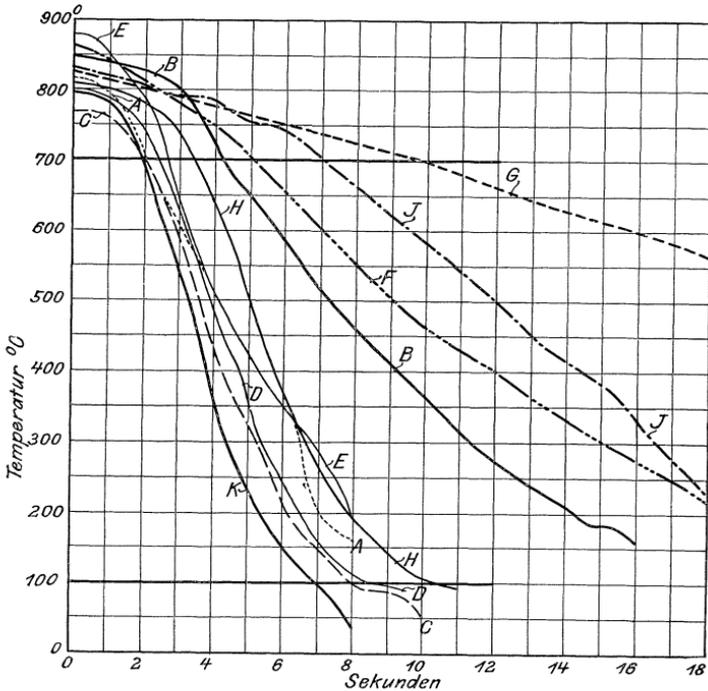


Abb. 76. Wirkung des Abschreckens von Stahl in verschiedenen Flüssigkeiten. A = kaltes Wasser. B = Quecksilber. C = Wasser von  $20^{\circ}\text{C}$ . D = Salzwasser. E = 10 prozentige Schwefelsäure. F = Leinöl. G = Blei. H = Wasser von  $50^{\circ}\text{C}$ . I = Wasser von  $100^{\circ}\text{C}$ . K = Sprühregen.  
Nach Le Chatelier-Haedicke.

die das Gefühl von Kälte hervorruft, wenn man Quecksilber von Zimmertemperatur mit den Fingern berührt, ist die Ursache zu der Ansicht geworden, daß das Quecksilber erhitzte Stähle sehr schnell abkühlen und auf sie einen hohen Härtegrad übertragen

<sup>1)</sup> Stahl und Eisen 1904, S. 1239.

müßte. Es wird indessen in dieser Hinsicht durch kaltes Wasser übertroffen, und zwar aus dem Grunde, weil die spezifische Wärme des Quecksilbers ungefähr 30mal geringer ist als diejenige des Wassers. Die abkühlenden Wirkungen von Salzwasser und verdünnter Schwefelsäure wurden als nicht merklich verschieden von gewöhnlichem Wasser gefunden und rechtfertigen daher nicht die landläufige Ansicht über ihre Vorzüglichkeit als Abschreckmittel. Die Wirkung, die man dadurch erreicht, daß man das Wasser vorher bis auf  $50^{\circ}\text{C}$  erhitzt, ist auch nicht viel besser, jedoch muß daran erinnert werden, daß alle diese Versuche mit kleinen Eisenstückchen von wenigen Grammen Gewicht (durchschnittlich 2–3 g) angestellt wurden und daher nicht beweiskräftig bei Anwendung großer Stahlwerkzeuge sind.

Aus dem Überblick über die physikalischen Veränderungen im Stahl, denen die merkwürdige Erscheinung der Härbarkeit zuzuschreiben ist, ergibt sich, daß die Art der Abkühlung den erreichbaren Härtegrad bestimmt, und mit dem Härtegrad schwankt auch die Änderung des Volumens, und folglich schwanken auch die daraus sich ergebenden Spannungen. Auch aus den thermischen Kurven ist zu folgern, daß die wirksamste Härtung, die durch Abschrecken hervorgerufen werden kann, auf eine ziemlich enge Temperaturzone, in gewöhnlichen Werkzeugstählen zwischen  $720$  und  $680^{\circ}\text{C}$ , beschränkt ist. Das Abschrecken unter  $680^{\circ}\text{C}$ , wenn es auch sehr schnell ausgeführt wird, reicht noch nicht aus, um den Stahl zu härten, sondern der Stahl muß bis auf etwa  $100^{\circ}\text{C}$  abgekühlt werden. Denn wird der Stahl, nachdem er etwa bis auf  $600^{\circ}\text{C}$ , also wesentlich unter  $680^{\circ}\text{C}$  abgeschreckt ist, aus dem Härtebade herausgenommen und dann an der Luft abgekühlt, so wird die Härtung abgeschwächt, und zwar in derselben Weise, wie der richtig bis auf ungefähr  $100^{\circ}\text{C}$  schnell abgekühlte, durch Wiedererhitzen auf Temperaturen unter  $600^{\circ}\text{C}$  erhitzte Stahl angelassen, d. h. weicher gemacht werden kann. Bei der Verwendung von Ölen und ähnlichen Flüssigkeiten als Abschreckmittel findet sowohl das Abkühlen bis zu  $680^{\circ}\text{C}$  als auch unter diese Temperatur mit einer geringeren Geschwindigkeit statt, als wenn Wasser verwendet würde, was je nach den vorliegenden Umständen mit Vorteil oder Nachteil für die bei dem Werkstück zu erreichende Härte verbunden sein kann. Es ist klar, daß eine gewisse geringste Geschwindigkeit des Abkühlens zwischen  $720$  und  $680^{\circ}\text{C}$  notwendig ist, um irgend ein besonderes

Stück Stahl bis zu einem gewünschten Grade zu härten. Diese Geschwindigkeit ändert sich jedoch mit der Zusammensetzung des Stahls und beinahe alle erstklassigen Tiegelstähle, die nicht besonders für Ölhärtung hergestellt sind, härten sich nicht gut in Öl. Wenn der Betrag an Mangan (0,15—0,25%), der gewöhnlich in erstklassigem Werkzeugstahl vorhanden ist, bis auf 0,40% und darüber steigt, so wird die Schnelligkeit, mit welcher die Umwandlung im Stahl vor sich geht, verringert, und ein Werkzeug, das sonst zu weich wäre, härtet sich zufriedenstellend, auch wenn die Abkühlung zwischen 720 und 680<sup>9</sup> C nicht mit der wünschenswerten Schnelligkeit vor sich geht.

Von den in Gebrauch befindlichen Ölen oder ähnlichen Stoffen härtet Petroleum am besten<sup>1)</sup>. Am nächsten steht Glycerin, das ehemals nicht genügend als Härteflüssigkeit gewürdigt worden ist. Dann folgen leichtflüssige Mineralöle und endlich dickflüssige Pflanzenöle, wie Leinöl u. a. Eine Schicht Öl auf der Oberfläche des Härtewassers gibt Veranlassung, daß beim Stahl ein höherer Härtegrad erreicht wird, als mit Öl allein, und ein geringerer Härtegrad, als mit Wasser allein, weil eine dünne Ölschicht auf dem Werkzeug haften bleibt, wenn es durch das auf dem Wasser schwimmende Öl gezogen wird und hierdurch die Ursache zur Verzögerung der Kühlwirkung des Wassers gegeben wird. Die Härtungsergebnisse können durch Veränderung der Dicke der Ölschicht beeinflußt werden, jedoch gelingt es nur einem praktisch erfahrenen Harter, bei verhältnismäßig einfachen Werkzeugen gleichmäßig gute Ergebnisse durch Anwendung eines Härtewassers mit einer Ölschicht zu erzielen. Anstatt des Öles wird das Wasser zuweilen mit Kalk oder Lehm oder sogar Seife vermischt, die alle den einen Zweck haben, eine dünne Schicht eines die Wärme schlecht leitenden Stoffes um den Stahl herum zu bilden. Häufiger jedoch wird eine gesättigte Salzlösung angewendet und zum Härten von Feilen allgemein gebraucht. Ätznatron, Schwefelsäure, Salmiak, Soda, Mangansulfat und fast jede in Wasser lösliche Substanz, die in den Bereich der Härterei kommt, wird dann und wann dem Härtewasser hinzugefügt. Diese gelegentlichen Beimischungen sind meist nicht schädlich, doch sind sie gewöhnlich nutzlos.

Da die Härtungswirkung der Kühlflüssigkeit vorüber ist,

---

<sup>1)</sup> Thallner, Werkzeugstahl, 2. Aufl., S. 93.

sobald die Temperatur des Stahls in allen Teilen unter  $680^{\circ}\text{C}$  gefallen ist, und die Art des nachfolgenden Abkühlens nur das spätere Anlassen beeinflusst, so ist es zweckmäßig, die Abschreckarbeit in der Weise durchzuführen, daß Härten und Anlassen in ein und derselben Flüssigkeit vorgenommen werden können. Wenn es z. B. gewünscht wird, einen gehärteten Gegenstand auf

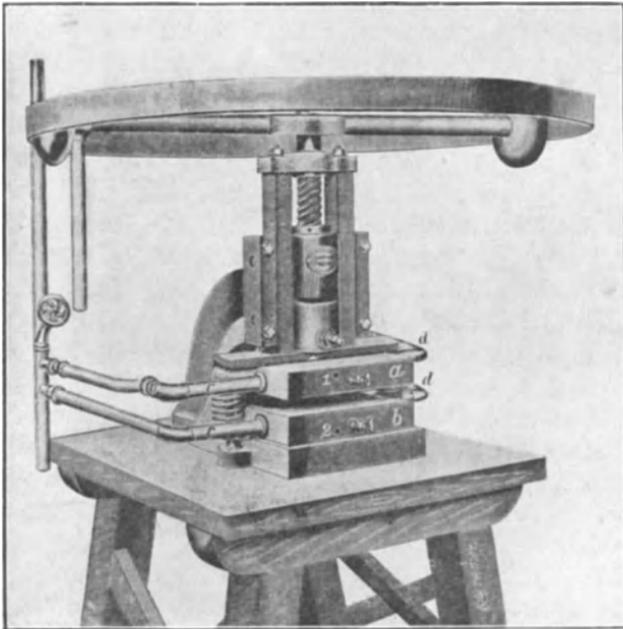


Abb. 77. Presse zum Härten von Stahlstreifen.

$350^{\circ}\text{C}$  anzulassen, so könnte man glauben, daß unmittelbares Abschrecken in geschmolzenem Blei, dessen Temperatur ungefähr  $350^{\circ}\text{C}$  sein wird, ebenso wirksam sein würde, als ihn zuerst in Wasser zu härten und alsdann anzulassen. Dasselbe würde der Fall sein, wenn die Schnelligkeit des Abkühlens von der Abschrecktemperatur herab bis  $350^{\circ}\text{C}$  ebenso schnell in Blei als in Wasser wäre. In der Tat verläuft das Abkühlen in Blei sehr viel langsamer als in Wasser, und die Anwendung von geschmolzenem Blei oder einem ähnlichen Metall oder einer Metallegierung oder einer anderen geschmolzenen Substanz ist nur in verhältnis-

mäßig wenigen Fällen möglich, wenn vom Stahl große Zähigkeit und ein sehr mäßiger Härtegrad gewünscht werden.

Zum Härten von Sägeblättern, Bandsägen, Sicherheitsrasierklingen, Schirmstangen und anderen Gegenständen von dünnem Querschnitt ist die Anwendung einer Presse zu empfehlen, die in ihrer Wirkung dem Metallbade völlig gleichwertig ist. Eine Ansicht einer solchen Presse stellt Abb. 77 dar<sup>1)</sup>, in welcher *a* und *b* hohle Metallkästen bedeuten, die je nach Wunsch durch fließendes Wasser gekühlt oder durch heißes Öl erwärmt werden können. Die Temperatur der hindurchströmenden Flüssigkeit wird an den Stellen 1 und 2 mit Hilfe eines Thermometers gemessen und die Geschwindigkeit der zirkulierenden Flüssigkeit durch Absperrungsvorrichtungen an den Zu- und Ableitungsröhren *c* und *d* geregelt. Die zu härtenden Gegenstände werden unmittelbar vom Härteofen zwischen den Preßkörpern gepreßt und bedürfen, wenn sie herausgenommen werden, weder des Anlassens noch des Geraderichtens. Durch Vertiefungen in den Preßplatten kann irgend ein Teil eines Gegenstandes, z. B. der Rücken eines Sägeblattes, weich gelassen werden. Diese Art Presse kann auch zur ununterbrochenen direkten Stahlbandhärtung benutzt werden. Zu diesem Zweck ist die Presse unmittelbar hinter dem Härteofen, in welchem das Stahlband erhitzt wird, aufgestellt. Das erhitzte Stahlband wird dann zwischen den Härtungsplatten hindurchgezogen, die vorher auf eine solche Temperatur und einen solchen Druck eingestellt sind, daß das Band sie mit der verlangten richtigen Federhärte verläßt. Derselbe Zweck kann anstatt mit parallel angeordneten Platten auch mit Hilfe von Walzen erreicht werden.

Auf Grund allgemeiner Anweisungen läßt sich nur wenig über die Art sagen, nach welcher irgend ein Werkzeug in die Härteflüssigkeit gebracht werden muß. Wenn das Werkzeug nicht richtig gehärtet worden ist, so ist es besser, daß es wieder ausgeglüht und dann von neuem gehärtet wird. Jede Werkzeugform verlangt bei der Hartung besondere Überlegung seitens des Härters, und meist genügen wenige Vorversuche, um zu dem Abkühlungsverfahren zu gelangen, bei dem am wenigsten die Entstehung gefährlicher Kräfte und Spannungen im Werkstück zu befürchten ist. Bedeutende Schwankungen in der Stärke der

---

<sup>1)</sup> Stahl und Eisen 1896, S. 900.

einzelnen Teile, scharfe Ecken und besonders scharfe Winkel an Werkzeugen verursachen immer Schwierigkeiten bei der Härtung. Aus diesem Grunde müssen Maschinenbauer und Werkzeugkonstrukteur mit dem erfahrenen Härter zusammenarbeiten, damit derartige Formen an nur mit Gefahr zu härtenden Werkzeugen vermieden werden.

Die stärkeren Teile eines Werkzeuges müssen immer zuerst das Wasser berühren, damit die durch ihre Kontraktion ausgelöste Kraft die dünneren Querschnitte nicht zum Reißen bringen

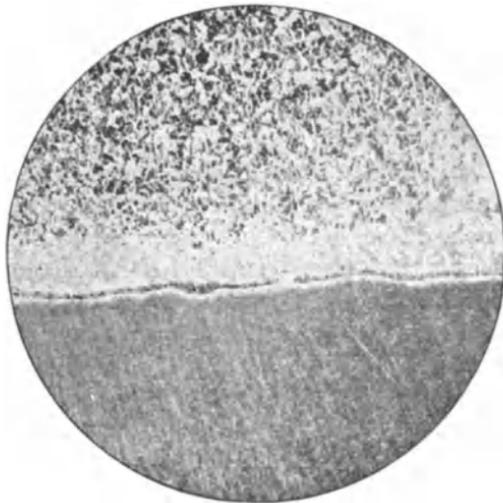


Abb. 78\* Trennungslinie zwischen der gehärteten Schneide und dem ungehärteten Rücken eines Schneidwerkzeuges.  
V = 100.

kann, solange letztere warm und daher fähig sind, sich zu biegen, ohne zu brechen. Es ist also ratsam, alle einseitig erhitzten Werkzeuge am kälteren Ende zuerst abzuschrecken.

Ein einfacher Flachstab wird, wenn er gleichmäßig erhitzt und durch gleichmäßiges Eintauchen in die Härteflüssigkeit nur auf einen Teil seiner Breite abgeschreckt wird, beständig an der Stelle geschwächt sein, die den gehärteten von dem ungehärteten Teile trennt. Ein Beispiel für eine derartige Härtung gibt Abb. 78, die das Gefüge eines Schneidwerkzeuges darstellt. Das aus gewöhnlichem Martinstahl hergestellte Werkzeug enthält eine Schneide,

deren Kleingefüge aus feinem Martensit besteht (untere Hälfte der Abb. 78). Unmittelbar an die gehärtete Schneide stößt in scharfer Abgrenzung der Rücken des Werkzeuges, dessen Kleingefüge Ferrit und Perlit aufweist. Da Werkzeuge dieser Art Stößen nicht ausgesetzt sind, so ist auch ein Abbrechen der gehärteten Schneide von dem ungehärteten Rücken nicht zu befürchten. Wenn dagegen der Stahl sehr arm an Ferrit und daher nach dem Abschrecken härter ist, so wird er häufig an der Trennungsfläche entlang, entweder vor oder bald nach dem Herausnehmen aus dem Wasser, reißen. Die geschwächte Stelle wird oft unentdeckt bleiben, wenn nicht das nachfolgende Schleifen einen feinen Riß zwischen gehärteter und ungehärteter Schicht hervorruft.

Eine weiche Stelle auf der Oberfläche eines gehärteten Gegenstandes ist zum Absplittern geneigt oder kann sogar einen tiefen Riß verursachen. Solche Risse können bei der Behandlung mit kalten oder nassen Zangen, bei Berührung mit einem zu kalten Ofenteile, durch einen zufälligen Wasserspritzer oder durch das flüchtige Hinlegen auf irgend eine kalte Fläche auf dem Wege vom Ofen zum Härtebottich entstehen. Es ist gleichgültig, wodurch solche örtlich begrenzten Abkühlungen hervorgerufen werden, doch ist zu beachten, daß der abgekühlte Teil weich bleiben wird oder sich nur unvollkommen härten läßt, wenn er vor dem Abschrecken bereits unter seine kritische Temperatur abgekühlt war.

Betrachten wir jetzt die Bedingungen, die zum Reißen eines Werkzeuges führen können. Die Oberfläche des gehärteten Stahls hat sich bleibend vergrößert. Der weichere innere Teil ist nicht so stark vergrößert und muß sich daher in einem Zustande der Dehnung befinden, solange er mit dem äußeren im Volumen vergrößerten Teil noch in inniger Verbindung steht. Irgend ein plötzlicher Stoß oder eine molekulare Störung, z. B. schon Schleifen, kann die Ursache sein, daß die zwischen dem äußeren und inneren Teil vorhandenen Spannungen die Widerstandsfähigkeit des Materials überwinden und dadurch einen deutlichen Bruch an der Oberfläche hervorrufen. Ein eigentümlicher Bruch dieser Art, der auf der Oberfläche eines im Einsatz gehärteten Ringes vorkam, ist in Abb. 79 gezeigt, die auch durch die mit der Feile gemachten Einritzungen die verhältnismäßige Weichheit des abgesplitterten Teiles erkennen läßt. Absplittierungen dieser Art

sind gewöhnlich in der Mitte dicker und gehen allmählich in eine sehr dünne Kante über. Wenn ein Schnitt durch einen solchen Splitter gelegt und für die mikroskopische Prüfung geeignet vorbereitet wird, so ist es gewöhnlich sehr leicht, den Ursprung der Absplitterungen auf die eine oder die andere der erwähnten Ursachen zurückzuführen.

Weiche Stellen in einem gehärteten Stahlstück können auf wirkliche Entkohlung, wie auf S. 58 auseinandergesetzt wurde, zurückgeführt werden. Sie sind dann meist sehr unregelmäßig in der Form und können nicht so leicht mit solchen weichen Stellen verwechselt werden, die durch Unregelmäßigkeiten bei der Hartung hervorgerufen werden, wie vorher angegeben worden ist. Auch können weiche Stellen dadurch entstehen, daß das Werkzeug in einem Kohlenfeuer erhitzt wurde, das noch nicht



Abb. 79. Risse in der harten Außenseite eines Stahlringes.

ordentlich durchgebrannt war. In diesem Falle verbindet sich Schwefel aus der Kohle mit dem Eisen und bildet entweder ein Eisensulfid oder bewirkt, daß die Oberfläche des Stahls sehr leicht abblättert und sich mit Narben bedeckt. Deswegen ist Koks oder am besten Holzkohle der geeignetste Brennstoff für Härteöfen. Während diejenigen weichen Stellen, die früher erwähnt sind, bei nochmaligem Härten verschwinden, tun dies solche weichen Stellen nicht, die eine Entkohlung zur Ursache haben, durch die jedoch nie oder nur in seltenen Fällen eine Absplitterung herbeigeführt wird. Die gewöhnlichste Ursache bei zersprungenen Werkzeugen, auch in einer gut geleiteten Härtereierie, sind scharfe Winkel oder Ecken des betreffenden Werkzeuges. Wie einwandfrei auch das Erhitzen und Abschrecken solcher Werkzeuge gewesen sein mag, so kann doch nicht die größte Sorgfalt bei der Härtung die mit scharfen Ecken und Winkeln verbundene Gefahr des Zerspringens der Werkzeuge beseitigen. Ein

Beispiel der Schädlichkeit des plötzlichen Überganges von starken zu schwachen Querschnitten gibt Abb. 80. Beim Härten riß die Bohrspindel an dem scharfen Übergang ein und brach bei In-

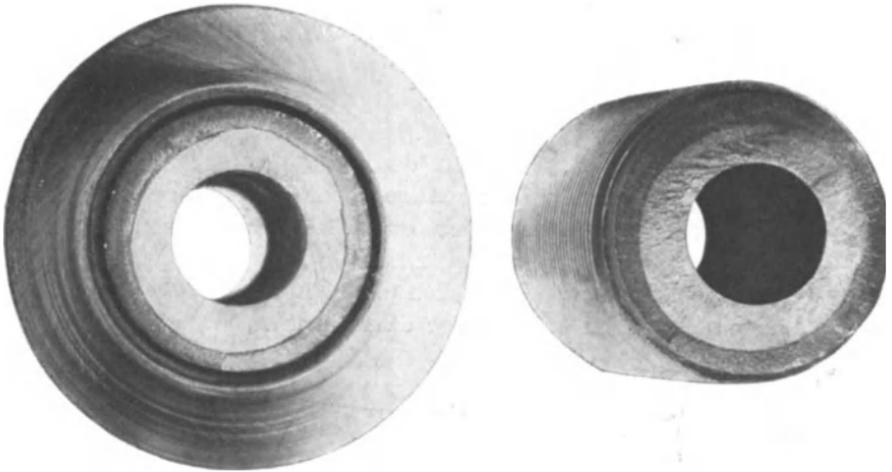


Abb. 80\*. Am scharfen Übergang vom starken zum schwachen Teil beim Härten geplatzte Bohrspindel.  $V = 2$ .

betriebnahme gänzlich auseinander. Man sieht deutlich zwei Bruchflächen (dunkel, beim Härten entstanden und hell, späterer Bruch).



Abb. 81. Auftreten von Härtestreifungen an scharfen Ecken.

Die Gefahr des Zerspringens von Werkzeugen mit scharfen Winkeln und Ecken hängt im besonderen auch von der Art der Abkühlung ab. Abb. 81 stellt die Abschreckwirkung an den zwei

inneren in rechtem Winkel zueinander versetzten Flächen einer Keilnute mit der unvermeidlichen Linie der Schwächung dar, die diagonal zwischen ihnen verläuft. Eine ähnliche Beobachtung kann man bei einem geschmolzenen in einem viereckigen Kasten abgeschreckten Schwefelantimonklumpen machen. Er kann leicht in der Hand an der deutlich erkennbaren Diagonallinie (Abb. 82) entlang zerbrochen werden.

Es ist schon über die Bruchneigung des Stahls an einer Ebene entlang berichtet worden, die scharf den gehärteten von dem ungehärteten Teile des Werkzeuges trennt. Ist der Querschnitt

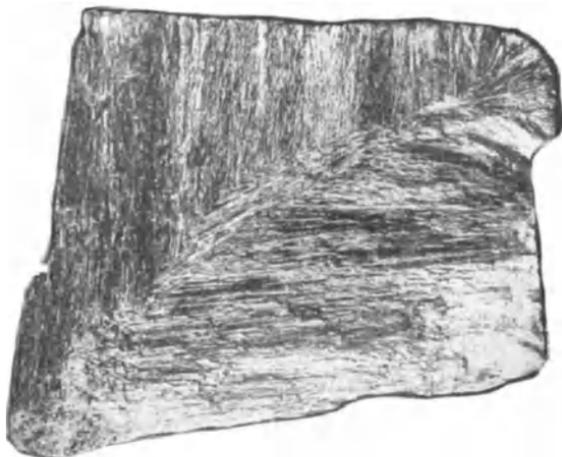


Abb. 82. Streifungen bei erstarrtem Schwefelantimon.

eines Werkstückes sehr groß, so gibt es im Inneren desselben immer eine Stelle, wo der gehärtete und nicht gehärtete Teil zusammentreffen, so daß in einem solchen Werkstücke stets eine größere oder geringere Bruchgefahr vorhanden ist. Besonders dort, wo Flächen zusammentreffen, um eine scharfe Kante zu bilden, müssen besondere Vorsichtsmaßregeln getroffen werden, um einem Bruche während des Härtens vorzubeugen. Ein runder Stab aus Werkzeugstahl mit abgeflachten Enden kann, wenn er erhitzt und in Wasser abgeschreckt wird, seine Kante in Form eines Ringes abwerfen (Abb. 83). Besonders starke Wellenzapfenbolzen, wie sie früher im Gebrauch waren, werden auf diese Weise unbrauchbar. Um diesem Übelstande zu begegnen, ist

der sicherste Weg der, daß man die Konstruktion ändert. Wenn das nicht möglich ist und entweder nur die Außenzone oder ein Ende solcher Werkstücke gehärtet werden soll, dann muß das schroffe Abkühlen auf diese Teile beschränkt werden. Dies kann mit Hilfe eines Sprühregens erreicht werden, der so angeordnet ist, daß er die Außenzone oder das Ende des Stahlstabes trifft.

Das Vorhandensein von weichen Teilen im Innern des gehärteten Stahls erklärt auch das Abblattern der Hammerflächen und das Abplatzen der Ecken an Werkzeugen für Walzendreher.

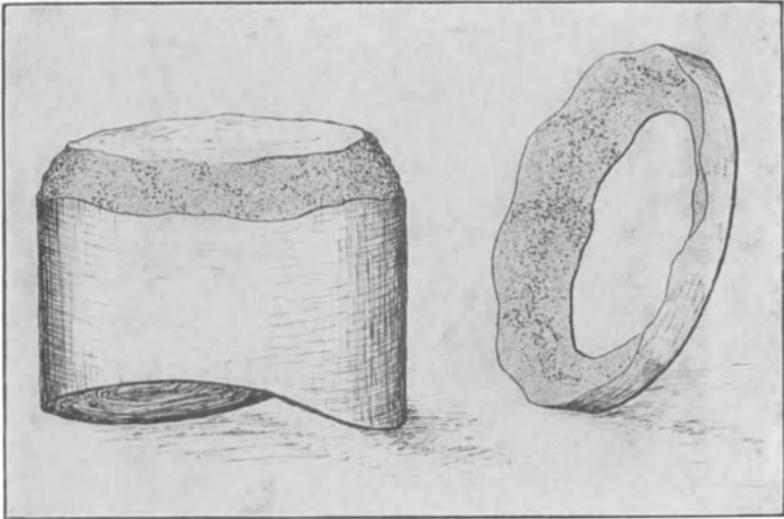


Abb. 83. Ringförmiger Bruch der Kante eines gehärteten Stahlzylinders.

Wenn noch Überhitzung oder ungleichmäßige Erwärmung des Werkzeuges hinzukommen, dann kann ein Mißerfolg beim Härten kaum abgewendet werden. Zuweilen brechen die Zähne eines Fräasers kreisförmig aus, auch dieser Bruch ist auf eine ähnliche Ursache, wie das erwähnte Abplatzen von Hammerflächen, zurückzuführen. Ein solcher Bruch kann jedoch dadurch vermieden werden, daß man eine kreisrunde Platte, die über die Zähne hinausreicht, auf jede Seite des Fräasers legt, so daß das Abkühlen hauptsächlich in rechtem Winkel zur Achse des Fräasers vor sich gehen und so eine gleichmäßige Tiefe der Härte quer zur Breite entstehen kann anstatt einer gekrümmten Ebene, die die ge-

härteten von den ungehärteten Teilen trennt, wie in Abb. 84 dargestellt ist. Risse, die auf die gleichzeitige Anwesenheit von

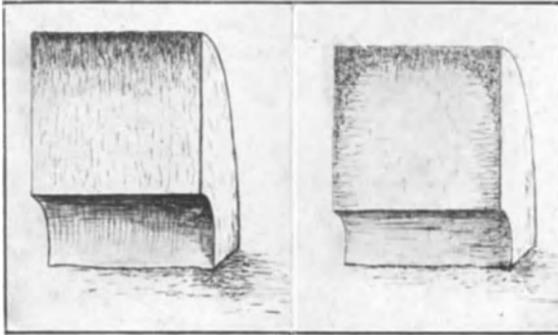


Abb. 84. Durch verschiedenartige Abkühlung hervorgerufene Streifungen an Fräserzähnen.

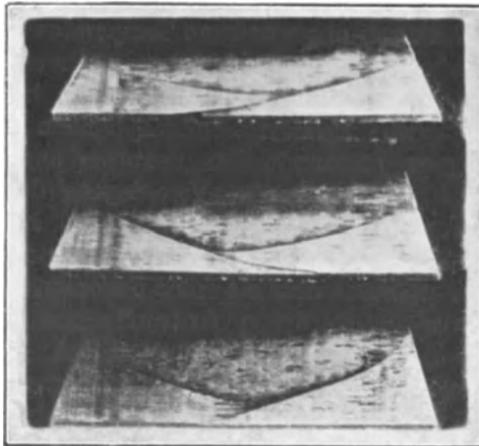


Abb. 85. Risse an Fräserzähnen.

gehärteten und ungehärteten Teilen zurückzuführen sind, kommen leicht an den Zähnen eines gewöhnlichen Fräasers vor, wie Abb. 85 erkennen läßt.

## VII. Das Anlassen und Ausrichten.

Der Zweck des Anlassens (Nachlassens) kann entweder sein, Härterisse (richtiger als Spannungsrisse zu bezeichnen) zu vermeiden, oder die Brüchigkeit und Sprödigkeit des gehärteten Stahls bis zu einem gewissen Grade zu verringern. Daß durch das Anlassen unter gewissen Umständen Risse herbeigeführt werden können, ist früher angedeutet worden.

Die beim Anlassen angewendeten Temperaturen werden nach den beim Erhitzen eines Stahlstückes auftretenden Farbenänderungen als dunkle Rotglut, Kirschrotglut, helle Kirschrotglut usw. bezeichnet. Selbstverständlich können diese Bezeichnungen nicht ganz bestimmte Temperaturen angeben, sondern werden je nach der besonderen Veranlagung des Beobachters verschiedene Temperaturen darstellen, die bis zu  $100^{\circ}$  C voneinander abweichen können. Große Übereinstimmung herrscht dagegen bei den Fachleuten über die Höhe derjenigen Temperaturen, bei welchen die verschiedenen Anlauffarben (auch Anlaßfarben genannt) erscheinen, wenn ein Stück gehärteter und blankgeriebener Stahl erhitzt wird. Die folgenden Temperaturen werden gewöhnlich in Lehrbüchern, Zeitschriften usw. für das Auftreten der Anlauffarben angegeben:

Anlauffarbe	Temperatur
keine Farbe	bis $220^{\circ}$ C
hellgelb	$220$ — $230^{\circ}$ C
dunkelgelb	$240^{\circ}$ C
gelbbraun	$255^{\circ}$ C
rotbraun	$265^{\circ}$ C

Anlauffarbe	Temperatur
purpurrot	275° C
violett	285° C
kornblumenblau	295° C
hellblau	310—315° C
grau oder meergrün	325—330° C
keine Farbe	über 330° C

Es ist jedoch falsch, wenn man annimmt, daß diese Farben bestimmte Temperaturen angeben. Es ist sogar zweifelhaft, ob durch sie bestimmte Grade des Anlassens angegeben werden. Die Meinung hierüber ist sehr geteilt.

Wenn ein Stück polierter Stahl von ungefähr 5 g Gewicht in ein Gefäß gelegt wird, das vorher bis zu einer Temperatur von 275° C erhitzt wurde, so wird der Stahl nach einer halben Minute gelb werden und jede Farbe bis zum hellblau in ungefähr  $\frac{1}{2}$  Stunde durchlaufen. Um das Verhalten des Stahls bei verschiedenen Anlaßtemperaturen zu prüfen, wurden in ähnlicher Weise Probestücke unter Luftzutritt in ein gleichmäßig erhitztes Gefäß eingesetzt, wobei die folgenden Ergebnisse erzielt wurden:

Temperatur	Gelb	Braun	Purpurrot	Dunkelblau	Lichtblau
200° C	6	49	—	—	—
220°	3	33	63	—	—
250°	1	10	39	—	—
275°	$\frac{1}{2}$	3	11	27	40

Die Zahlen bedeuten die Minuten, die zur Erzielung der vollen Farbe, die an der Spitze der senkrechten Kolumne steht, verlangt wurden.

Aus den vorstehenden Zahlen ist ersichtlich, daß die Anlauffarben nicht in den in der ersten Tabelle angegebenen Temperaturen zu entsprechen brauchen, weil diese Tabelle die Temperaturen für das erste Auftreten der Farben angibt, während aus der zweiten Tabelle hervorgeht, daß dieselben Anlauffarben bei wesentlich niedrigeren Temperaturen entstehen können, wenn diese niedrigeren Temperaturen ausreichend Zeit haben, auf das Stahlstück einzuwirken. Die Anlauffarbe ist also abhängig von der Zeit der Einwirkung der Temperatur und gibt daher nur

einen oberflächlichen Wert für die Beurteilung des Anlaßzustandes an.

Hieraus folgt, daß das Ergebnis beim Anlassen, sowohl in bezug auf die Härte als auch auf andere Eigenschaften des Stahls, dasselbe ist, ob die Farbe durch ein kürzeres Erhitzen bei einer höheren Temperatur oder ein längeres Erhitzen bei einer niedrigeren Temperatur erreicht wurde. Dies ist jedoch eine Schlußfolgerung, mit der man nicht ohne weiteres einverstanden sein kann. Sicherlich wird sie nicht durch Festigkeitsprüfungen an in Öl gehärteten und angelassenen Automobilstählen bestätigt, die nicht sehr große Verschiedenheiten zeigen, nachdem sie während einer Zeitdauer angelassen sind, die zwischen 15 Minuten bis zu 2 Stunden schwankt.

Die Anlauffarbe ist auf eine Oberflächen-Oxydation des Stahls zurückzuführen und es ist klar, daß die Farbenänderungen unabhängig von der Temperatur sind und nur durch die Erhitzungsdauer bestimmt werden, ebenso wie der Glühspan, der sich bei Rotglut bildet, an Stärke mit der Zeit zunimmt, obwohl die Temperatur unverändert bleibt. Daher ist es nicht zugänglich, aus den schon bei niedrigen Temperaturen auftretenden Anlauffarben oder aus der Ausdehnung des oberhalb Rotglut entstehenden Glühspans einen Schluß auf die Temperatur zu ziehen, bei welcher der Gegenstand erhitzt wurde. Aus dieser Tatsache folgt weiter, daß man weder aus der Anlauffarbe noch aus der Ausdehnung des Glühspans bestimmen kann, bis zu welchem Grade gewisse physikalische Veränderungen, die beim Erhitzen auf bestimmte Temperaturen im Stahl vor sich gehen, stattgefunden haben.

Für gewisse Gewerbebezüge kommen blau angelassene Werkzeuge auf den Markt und sie würden mit einer anderen Anlauffarbe kaum verkäuflich sein. Aus diesen Gründen und mit Rücksicht auf ihre allgemeine Zweckdienlichkeit kann die Anlauffarbe beibehalten und selbst unter bestimmten Bedingungen empfohlen werden, um wenigstens eine gewisse Sicherheit dafür zu haben, daß der verlangte Anlaßgrad erreicht wurde. Die Anlauffarbe ist zuweilen bei einfachen Werkzeugen überhaupt nicht zu vermeiden, denn gewöhnliche Werkzeuge werden meist schnell poliert, nachdem sie genügend weit unter die Umwandlungstemperatur abgekühlt sind, aber sie bleiben noch heiß genug, um (nach dem Polieren) wieder anzulaufen.

Wenn bei teuren Werkzeugen ein besonders sorgfältiges Anlassen notwendig wird, dann wird man nicht die Anlauffarbe als Maß für die gewünschte Temperatur ansehen, sondern ein Ölbad verwenden, das bis zu der verlangten Anlaßtemperatur erhitzt ist und das bei dieser Temperatur auch für jede gewünschte Zeit erhalten werden kann. In Öl angelassene Gegenstände nehmen in allen ihren Teilen auch dieselbe gleichmäßige Temperatur an, wodurch Härtespannungen gewöhnlich ausgeglichen werden. Für hohe Anlaßtemperaturen kann ein Bleibad angewendet werden, das in Form eines rechteckigen Troges zum Anlassen langer Stahlblätter besonders geeignet ist. Blei wird auch überall zum Anlassen der nicht gezähnten Feilenangeln, von Bohrerschäften und anderen Teilen von Werkzeugen verwendet, die an gewissen Stellen weich sein sollen. Um die Temperatur des Bleibades nur wenig über dem Schmelzpunkt des Bleis ( $327^{\circ}\text{C}$ ) zu erhalten, ist es nur nötig, die Heizung des Bades so zu regeln, daß sich an der Seite des Troges eine schwache Kruste festen Bleis bildet. Um das Bleibad für niedrige Anlaßtemperaturen geeignet zu machen, setzt man dem Blei Zinn in folgenden Verhältnissen zu:

Prozent Zinn . . . . .	10	20	30	40	50	60
Flüssig bei . . . . .	$300^{\circ}$	$275^{\circ}$	$255^{\circ}$	$230^{\circ}$	$210^{\circ}$	$185^{\circ}$

Eine ähnliche Erniedrigung des Schmelzpunkts des Bleis erreicht man durch Hinzufügung des billigeren Antimons in folgenden Verhältnissen:

Prozent Antimon . . . . .	5	10	13
Flüssig bei . . . . .	$290^{\circ}$	$270^{\circ}$	$250^{\circ}$

Höhere Temperaturen des Bleibades als  $327^{\circ}\text{C}$  werden ungefähr durch das Verkohlen ( $350^{\circ}\text{C}$ ) oder Funkensprühen ( $430^{\circ}\text{C}$ ) eines Spanes Fichtenholz oder nach der Schnelligkeit bestimmt, mit welcher die Anlauffarben sich bilden und an einer polierten Stahlstange herauflaufen, die senkrecht in das Bleibad getaucht wird. Alle diese Verfahren stehen natürlich den pyrometrischen Meßverfahren nach, sind aber häufig genau genug und leicht ausführbar.

Kleine Gegenstände, die in großen Mengen hergestellt werden, werden zuweilen nach der Ölhärtung dadurch angelassen, daß man sie erhitzt, bis das anhaftende Öl aufflammt oder bis seine Flamme erlöscht. Man spricht dann vom „Abbrennen“ des

Stahls, mit welchem in der Regel sog. Federhärte verbunden ist. Dieses Verfahren kann nicht empfohlen werden, wenn die Gegenstände eine unregelmäßige Stärke besitzen, weil die dünneren Teile schneller auf eine höhere Temperatur erhitzt werden als die dickeren Teile. Bei manchen Gegenständen von gleichartigem Querschnitt (Friktionsscheiben) pflegt dagegen das Abbrennen ausgezeichnete Ergebnisse zu liefern, und es muß gewöhnlich dann angewendet werden, wenn Anlaßtemperaturen verlangt werden, die man im Ölbad nicht mit genügender Zuverlässigkeit erreicht.

Es kommt zuweilen vor, daß ein Stahl, der für Drehstähle oder kleine Bohrer geeignet ist, zu Maschinen-Gewindebohrern oder ähnlichen Werkzeugen verarbeitet wird, die bei groben Arbeiten widerstandsfähig sein müssen. Bei den gewöhnlichen Anlaßtemperaturen (200—300° C) sind sie zu brüchig und bleiben es auch noch bei höheren Temperaturen, bis sie schließlich bei einer zu hohen Anlaßtemperatur zu weich werden, um eine Schneidkante zu behalten. Die Brüchigkeit nach dem Anlassen bei niedrigen Temperaturen ist auf das Vorhandensein von freiem Zementit zurückzuführen, der durch das Anlassen bei den üblichen niedrigen Temperaturen nicht beeinflußt wird. Zur Herstellung der genannten Werkzeuge wird man daher einen weicheren Stahl wählen, der bei einer niedrigen Temperatur angelassen werden kann. Die Tabelle auf S. 16 wird gewöhnlich durch eine Reihe von Werkzeu gen erweitert, die bis zu den noch beistehenden Anlauffarben angelassen werden sollen. Solche Tabellen können leicht zu Irrtümern führen, wenn nicht die Art des verwendeten Stahls, die Größe des Werkzeuges, die Art seiner Härtung und der genaue Zweck, zu welchem das Werkzeug verwendet werden soll, besonders angegeben sind. Jeder Maschinenbauer zieht das haltbarste Werkzeug jedem anderen vor und läßt es in der Regel nach seinem Gutdünken bis zu einer bestimmten Farbe an, die meist ganz verschieden von derjenigen ist, die in den üblichen Tabellen angegeben wird. Immerhin können folgende Temperaturen für Werkzeuge empfohlen werden, die in einem Ölbad-anlaßofen angelassen werden sollen und für welche ein ihren Eigenschaften entsprechender Stahl angewendet worden ist<sup>1)</sup> (vgl. Tabelle auf Seite 16):

---

<sup>1)</sup> H. Fulwider, Metallurgie 1910, S. 157.

## Bei rund 220° C:

Schaber für Messing	Schneidwerkzeuge für Elfenbein
Stahlstecherwerkzeuge	Hobelwerkzeuge für Eisen
Kleine Drehstähle	Papiermesser
Hammerbahnen	Holzschneiderwerkzeuge
Hobelwerkzeuge für Stahl	Hornschneiderwerkzeuge.

## Bei rund 240° C:

Fräser	Gewindestrehler
Drahtzieheisen	Durchschläge und Gesenke
Bohrgeräte	Federmesser
Lederschneidmesser	Reibahlen
Schraubenschneidbacken	Halbrundbohrer
Eingesetzte Sägezähne	Hobel- und Profilhobelmesser
Gewindebohrer	Steinschneidwerkzeuge.
Steinbohrer	

## Bei rund 260° C:

Hohleisen	Holzbohrer
Handhobeisen	Lochhämmer
Spiralbohrer	Küferwerkzeuge
Flachbohrer für Messing	Schärfmesser.

## Bei rund 275° C:

Holzbohrer	Nuteisen für Stahl
Zahnärztliche und chirurgische Instrumente	Äxte.

## Bei rund 285° C:

Nagelbohrer	Holzmeißel
Nuteisen für Gußeisen	Nuteisen für Schweißeisen
Sägen für Horn und Elfenbein	Rundsägen für Metall
Nadeln	Schraubenzieher
Stechbeitel	Federn
Handsägen	Holz sägen.

Es sind zwei Verfahren des Ölbadanlassens im Gebrauch. Nach dem ersteren wird das Werkzeug in das auf etwa 120° C erhitzte Ölbad eingetaucht und dann letzteres auf die gewünschte Temperatur gebracht. Ist diese erreicht, dann wird das Werkzeug aus dem Ölbad herausgenommen und je nach der ge-

wünschten Anlauffarbe schneller oder langsamer abgekühlt. Das zweite Verfahren besteht darin, daß das Werkzeug in das bereits auf die gewünschte Temperatur erhitzte Ölbad gebracht, einige Zeit zum Temperatúrausgleich darin belassen und alsdann abgekühlt wird. Die nach dem ersten Verfahren behandelten Werkzeuge sind von besserer Qualität, während das zweite Verfahren den Vorzug der Einfachheit besitzt.

Es wurde bereits auf S. 38 angeführt, daß das Erwärmen von gehärteten Stahlgegenständen auf 100—150° C ihre Härte kaum merklich beeinflußt. Werden Schneidwerkzeuge bei zu hoher Temperatur angelassen, so nimmt ihre Härte ab, womit natürlich eine Verminderung ihrer Schnitffähigkeit verbunden ist. Aus der folgenden Tabelle ist ersichtlich, daß mit steigender Temperatur ein gehärteter Stahl seine Härte allmählich verliert<sup>1)</sup>.

Werkzeugstahl mit 1,1% Kohlenstoff	Brinellsche Härtezahl
Ausgeglüht . . . . .	200
Auf 760° C erhitzt und in Wasser abgeschreckt . . . . .	2 499
„ 50° C angelassen . . . . .	2 499
„ 100° C „ . . . . .	2 490
„ 200° C „ . . . . .	2 380
„ 300° C „ . . . . .	1 190
„ 400° C „ . . . . .	917
„ 500° C „ . . . . .	770
„ 600° C „ . . . . .	358

Diese Zahlen zeigen, daß die Härte bis zu einer Anlaßtemperatur von ungefähr 200° C nicht vermindert wird, daß dagegen der bei 300° C angelassene Stahl nur noch ungefähr 50% von der Härte besitzt, die er nach dem Abschrecken bei 760° C besaß.

Anlaßversuche unter Betriebsbedingungen sind immer befriedigender als ein feststehendes Verfahren, das einem Buch oder einem Geschäftskataloge entnommen ist. Wenn während des Anlassens der Gegenstand noch gerichtet werden muß, dann muß die angewendete Anlaßtemperatur noch über diejenige erhöht werden, die man sonst für nötig hält, um das Richten ohne Bruchgefahr zu ermöglichen.

Das Verwerfen oder Verziehen (Schweißen) bei Werk-

<sup>1)</sup> Vgl. Metallurgie 1909, S. 376.

zeugen ist entweder auf einen Mangel an Gleichmäßigkeit des Gefüges oder auf die Art des Erhitzens oder Abkühlens zurückzuführen. Ungleichmäßigkeit des Gefüges und die damit verbundenen inneren Spannungen sind gewöhnlich auf unrichtiges Schmieden zurückzuführen und dieser Fehler ist durch Ausglühen und langsames Abkühlen zu beseitigen. Ein durch ungleichmäßiges Erhitzen oder Abkühlen hervorgerufenen Verziehen von Werkzeugen ist nicht immer zu vermeiden.

Bei Werkzeugen von ungleichmäßiger Stärke aber symmetrischem Querschnitt kann das Verziehen fast gänzlich dadurch beseitigt werden, daß man das betreffende Werkzeug so biegt, daß es durch das Abschrecken wieder gerade gerichtet wird. Die Wärmebehandlung einer langen Säbelklinge kann hierfür als Beispiel angeführt werden. Die Klinge, welche schon ausgeglüht worden ist, um Spannungen, die vom Schmieden oder Walzen herrühren, zu beseitigen, wird in einem Salzbade oder auf dem Herde eines langen Ofens bis zur Rotglut erhitzt. Die Klinge wird dann einem Metalltisch zugeführt, der mit einem Schlitz versehen ist, in den die Spitze der Klinge hineingelegt wird, um darauf an dem anderen Ende festgeklemmt zu werden. Gegen eine besonders gebogene Schablone wird dann die Klinge nach der Rückenkante um so viel gebogen, als erfahrungsgemäß eine solche Klinge aus ihrer geraden Richtung bei einer bestimmten Art des Abschreckens nach der entgegengesetzten Richtung hin sich ausbiegt. Diese vorgebogene Klinge wird dann beim Abschrecken vollkommen gerade.

Um gute Härtungsergebnisse zu erzielen, empfiehlt es sich, das Abschrecken so einfach als möglich durchzuführen. Alle halbrunden Feilen werden vor dem Härten konkav gesetzt, beim Härten richten sie sich dann von selbst gerade. Nötigenfalls werden sie, bevor sie ganz kalt sind, noch unbedeutend weiter gerichtet. Zu diesem Zwecke sind ein paar Eisenstäbe in einem geeigneten Abstände im oberen Teile des Härtebottichs besonders befestigt. Die Feile wird in der verlangten Richtung zwischen ihnen eingespannt. Dann wird Wasser auf die obere Seite der Feile gespritzt, um sie ganz abzukühlen, worauf sie aus der Einspannvorrichtung herausgenommen wird.

Stahlbleche, z. B. Sägeblätter, werden am besten in einer Presse gehärtet (Abb. 77), wodurch ein Verziehen der Bleche vermieden wird. Falls es nötig erscheint, kann ein gelindes Ausrichten mit dem Hammer nachfolgen.

Nach dem Abschrecken kann der größte Teil einer entstandenen Krümmung dadurch beseitigt werden, daß das Werkstück zwischen den polierten Preßkörpern einer Presse hindurchgezogen wird, die bis auf die gewünschte Anlaßtemperatur erhitzt wurden. Das endgültige Geraderichten wird dann mit einem an der Schlagfläche zylinderförmig abgerundeten Hammer vorgenommen. Hierbei ist eine große Geschicklichkeit erforderlich, da sonst der Schlag, anstatt gerade zu richten, den Stahl noch krummer macht. Jeder Schlag soll die gewölbte Fläche ebnen und dies geschieht am besten, indem der Hammer während der Arbeit gedreht wird. Gegenstände, die nicht gestreckt werden dürfen, können auch nicht durch Hammerschläge gerade gerichtet werden. Daher werden Sägen oder Messer, die sehr hart gemacht werden müssen, beim Bearbeiten mit dem Hammer leicht rissig, weil die Beschaffenheit des Materials die verlangte Streckung nicht zuläßt. Kleine Haarrisse auf der Oberfläche von Metallsägen, die nur beim Schleifen oder erst später sichtbar werden, können häufig von dem Eindruck des Hammers herrühren. Verbogene Werkzeuge, z. B. Bohrer und Reibahlen, werden, nachdem sie angewärmt worden sind, unter einer Spindelpresse gerade gemacht. Lange, dünne Stahlstreifen, z. B. Schwertklingen, werden in eine Vertiefung gelegt und mit Hilfe einer Klaue gerade gerichtet. Ein paar Klauen können ebenfalls verwendet werden, um ein Stahlblatt auszurichten, indem jedes Ende des Stahlblattes in entgegengesetzter Richtung gedreht wird, nachdem das Blatt vorher bis zur verlangten Anlaßhitze erwärmt worden war. Auch kann ein Ende des Blattes zwischen die Backen eines Schraubstocks gespannt und das andere dann mit Hilfe einer Klaue gedreht werden. Wenn auch das Verziehen bei einem Werkzeuge auf mechanischem Wege beseitigt werden kann, so ist doch anzupfehlen, ein erstmaliges Verziehen überhaupt zu verhindern, da ein verzogener und dann gerade gerichteter Gegenstand bei angestrengtem Gebrauche sehr leicht seine richtige Form wieder aufgibt.

Um ein Verziehen von Spiralbohrern zu verhindern, bedient man sich zweckmäßig der in Abb. 86 dargestellten Vorrichtung<sup>1)</sup>. Diese besteht aus einem schräg im Härtebottich angebrachten Rost *a*, auf welchen die erhitzten Bohrer gelegt und

---

<sup>1)</sup> Nach Blume, Werkstattstechnik 1908, S. 289.

mittels einer Holzplatte *b* schnell hin und her gerollt werden. Lange Gegenstände, wie z. B. Stehbolzengewindebohrer, dürfen in rotwarmem Zustande zwecks Abkühlens nicht in eine wagerechte Lage gebracht werden, da sie sich sonst durchbiegen. Zum Härten dieser Werkzeuge wendet man daher die in Abb. 87 dargestellte Vorrichtung an. Dieselbe wird über dem Härtebottich aufgehängt und das Werkzeug in die Zange *b* durch Verschieben des Ringes *a* festgeklemmt. Alsdann wird das Werkzeug durch kräftiges Arbeiten am Handrade gedreht und in die Härteflüssigkeit getaucht. Die Drehung des Werk-

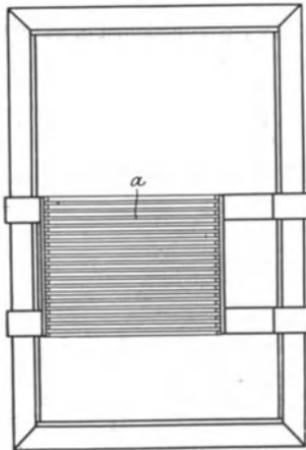
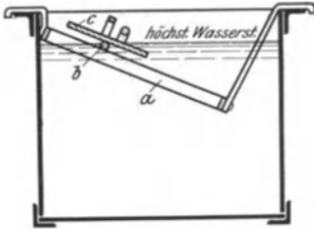


Abb. 86\*. Vorrichtung zum Härten von Spiralbohrern.

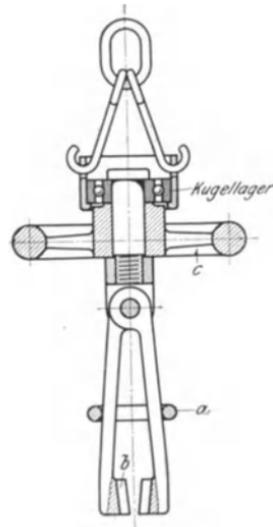


Abb. 87\*. Vorrichtung zum Härten von Stehbolzengewindebohrern.

zeuges im Kühlmittel muß stets in der Schnittrichtung erfolgen<sup>1)</sup>.

Beim Anlassen von gehärtetem Werkzeugstahl beobachtet man auch Gefügeveränderungen, die allerdings nicht so erhebliche Bedeutung für die Brauchbarkeit des betreffenden Werkzeuges be-

<sup>1)</sup> Nach Blume, Werkstattstechnik 1908, S. 289.

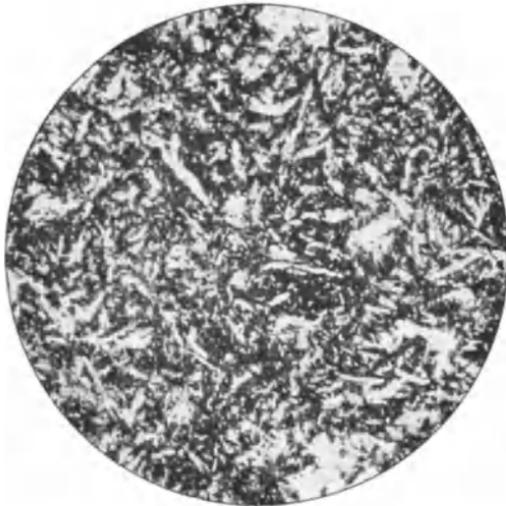


Abb. 88\*. Gehärteter Werkzeugstahl mit 1% Kohlenstoff auf 100° C angelassen. Troostit.  
V = 400.

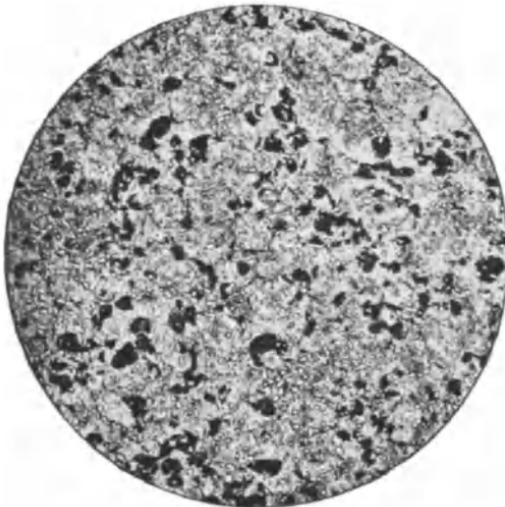


Abb. 89\*. Gefüge einer Feile mit 1,28% Kohlenstoff. Troostit (dunkel) in einer martensitischen Grundmasse. Die hellen Körner sind Zementit.  
V = 200.

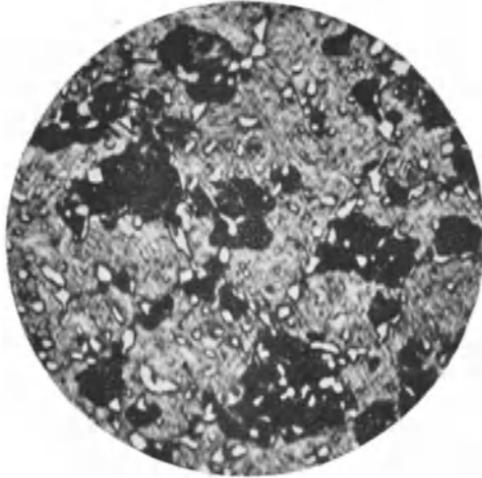


Abb. 90\*. Wie Abb. 89.  
V = 600.



Abb. 91\*. Gehärteter Werkzeugstahl auf 670° C angelassen. Körniger Perlit.  
V = 600.

sitzen, als diejenigen Gefügeveränderungen, durch die die Härte des Stahls bedingt wird. Bei Anlaßtemperaturen bis ungefähr  $400^{\circ}\text{C}$  wandelt sich der beim Abschrecken erhaltene Martensit um, es erscheint als Gefügebestandteil der sog. Troostit. Abb. 88 stellt das Gefüge eines Werkzeugstahls mit 1% Kohlenstoff dar, der in Wasser abgeschreckt und auf ungefähr  $100^{\circ}\text{C}$  angelassen wurde. Der anfänglich vorhandene nadelförmige, helle Martensit ist nicht mehr so scharf begrenzt, er geht in den dunkleren Troostit über. Abb. 89 und 90 geben das Kleingefüge eines Feilenstahls mit etwa 1,28% Kohlenstoff wieder. Die dunklen Flecken sind Troostit, der in einer martensitischen Grundmasse liegt. Außerdem sieht man noch helle Inselchen, die Zementit darstellen. Das Auftreten des Troostits ist wahrscheinlich in diesem Falle nicht auf ein Anlassen, sondern auf eine Verzögerung beim Abschrecken in der Härteflüssigkeit zurückzuführen.

Um  $400^{\circ}\text{C}$  herum geht der Troostit in Osmondit über, der allerdings nur von einem geübten Auge unter dem Mikroskop entdeckt werden kann. Bei höheren Anlaßtemperaturen und zwar bis in die Nähe des kritischen Punktes, also bis gegen  $650^{\circ}\text{C}$ , erscheint ein anderer Gefügebestandteil, der Sorbit, der ebenfalls unter dem Mikroskop nur sehr schwer erkannt werden kann. Beim Anlassen des gehärteten Stahls bis in die Nähe des kritischen Punktes (etwa  $700^{\circ}\text{C}$ ) beginnt er wieder sein ursprüngliches Gefüge anzunehmen, das bei einem Stahl mit 1% Kohlenstoff nur aus Perlit besteht. Dieser durch hohes Anlassen hervorgerufene Perlit unterscheidet sich von dem früher beschriebenen lamellaren Perlit (Abb. 4 u. 18) dadurch, daß er ein körniges Aussehen besitzt und er wird daher körniger Perlit genannt (Abb. 91; vergl. hiermit Abb. 18). So lehrreich auch das Studium dieser durch die verschiedenen Anlaßtemperaturen hervorgerufenen Gefügeveränderungen im Stahl ist, so haben letztere doch für den praktischen Härter keine grundlegende Bedeutung, so daß sich die genaue Entstehung und Beschreibung dieser Gefügebestandteile an dieser Stelle erübrigt.

---

## VIII. Das Härten typischer Werkzeuge.

Beim Härten (und Anlassen) von Gegenständen, wie Hand- und Schrotmeißeln, ist es nicht nötig, das ganze Werkzeug zu erhitzen, sondern nur 20—30 mm des zugeschärften Endes. Ein zu geringer Teil der Schneide darf nicht erhitzt werden, da sonst der hinter dem gehärteten liegende Teil sich unter schweren Schlägen biegen und die Ursache zum Abbrechen für die Schneide abgeben kann, die der Richtungsablenkung nicht zu folgen vermag. Wenn eine große Zahl Meißel zu härten ist, so ist ein gewöhnlicher Flammofenherd, bei welchem die Feuergase von der Feuerungsstelle nach der an der entgegengesetzten Ofenseite befindlichen Arbeitstür ziehen und dann in die Esse gelangen, besonders geeignet. Die Werkzeuge werden am besten in einem kurzen eisernen Rohre von 150—200 mm Durchmesser, das an beiden Enden offen ist, verpackt und dann allmählich bis zu derjenigen Stelle des Herdes vorgerückt, an welcher die Temperatur zwischen 770 und 800° C beträgt (siehe Abb. 92), oder sie können in Reihen auf ein Stück einzölliges Eisen aufgebaut werden. Wenn die Schneiden gegen das Feuer gerichtet sind, so werden diese allein auf die verlangte Härtetemperatur erhitzt. Auf diese Weise kann mit geringen Kosten der ganze Satz Werkzeuge zum Abschrecken vorbereitet werden, eine Arbeit, die schneller erledigt wird, als wenn man die Werkzeuge einzeln von dem Ofen zum Härtebottich befördert.

Auch ein Salz- oder Bleibadofen kann bequem zum Härten von Meißeln benutzt werden. Der letztere ist besonders zum Härten von Mühlpicken geeignet, da die eine Schneide derselben beliebig erhitzt werden kann, ohne daß hierdurch die Temperatur der anderen Schneide merklich geändert wird. Das Anlassen geschieht bei Schrotmeißeln dadurch, daß die Schäfte quer zur Breite eines langen schmalen Ofens gelegt werden, wo sie gleichmäßig angewärmt werden, bis die dunkelblaue oder

irgend eine andere gewünschte Anlauffarbe an der blank geriebenen Schneide erscheint. Handmeißel zum Abschneiden sehr weicher Materialien werden zuweilen aus Stahl gefertigt, der ungefähr 0,4% Kohlenstoff enthält, in welchem Falle sie zwischen 800—820° C gehärtet werden müssen, ohne daß ein Anlassen nötig ist.

Schellhämmer (Döpper) werden gewöhnlich maschinell unmittelbar aus der Stange geschnitten. Wenn die Stahlstange anstatt des normalen feinen Bruches einen grobkörnigen Bruch besitzt, so ist der Stahl für erstklassige Schellhämmer ungeeignet,

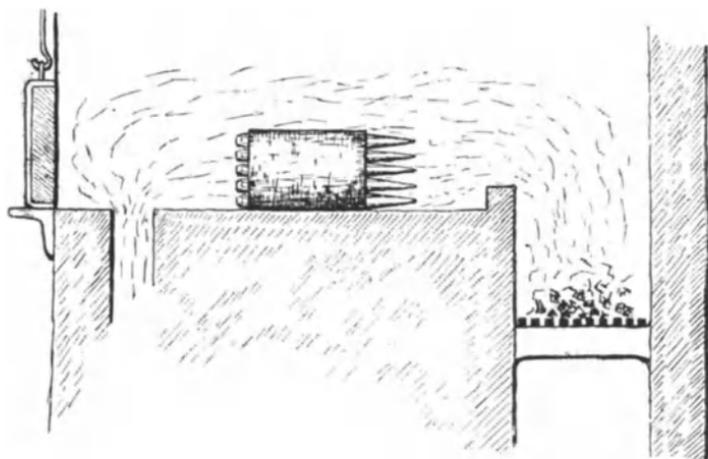


Abb. 92. Flammofen für Härtezwecke.

und ein aus diesem Stahl gefertigter Schellhammer wird sicher in der Kerbe brechen, selbst wenn der hohle Kopf gut standhält. Das Ziel muß daher sein, eine gehärtete Schicht unmittelbar hinter der Kopfschicht zu bilden. Unmittelbares Abschrecken würde die Kanten der Vertiefung zu hart machen und die Mitte derselben zu weich lassen. Daher werden die Kanten eines so gehärteten Schellhammers beim Gebrauche abspringen. Man pflegt, um dies zu vermeiden, die Schellhämmer unter einem durch einen Hahn regulierbaren Wasserstrahl zu härten, wie in Abb. 93 A gezeigt ist. Ein ebenfalls bequemes Härteverfahren ist in Abb. 93 B angedeutet.

Die Schellhämmer können wie Schrotmeißel in einem Bündel erhitzt, und ebenso wie diese angelassen werden. Noch besser

ist es, wenn man sie mit dem Schaftende zuerst durch den durchlocherten Deckel eines flachen Bleibades steckt, bis die richtige Anlauffarbe erscheint. Wenn große Mengen Schellhämmer zu härten sind, bringt man über dem Wasserstrahl eine Klammerfeder an, zwischen deren Backen der heiße Schellhammer eingeschoben und so in der richtigen Lage über dem aufsteigenden Wasserstrahl festgehalten wird. Der Hammer kann nach dem Härten aus der Klammer leicht herausgenommen und durch den nächsten ersetzt werden. Die Lebensdauer von gut gehärteten Schellhämmern, Schrotmeißeln u. dgl. wird ebenso oft durch Ab-

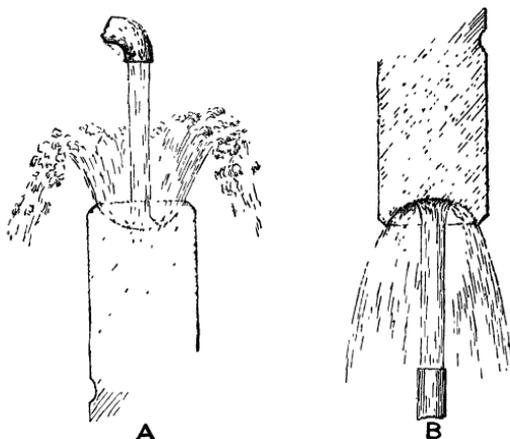


Abb. 93. Verfahren zum Härten von Schellhämmern.

nutzung am Kopfe als auch durch Brüche an der Schneide verkürzt. Die Abnutzung ist sehr stark, wenn die Werkzeuge aus unausgeglühtem Rohstahl hergestellt sind. Unter anderem kann dies durch Härten der Köpfe, etwa in Öl, bevor die Schneidkante gehärtet wird, vermieden werden. Beim Abschrecken in Öl bleibt zwar das Volumen des Werkzeuges dasselbe, als wenn eine Vorhärtung nicht stattgefunden hätte, aber die Köpfe erhalten durch diese Vorhärtung eine viel größere Zähigkeit als ohne eine solche, daher splintern sie weder ab noch bilden sie so leicht einen Pilzkopf.

Das Härten von Gewindebohrern und ähnlichen Werkzeugen wie Reibahlen, Fräsdornen und Spiralbohrern muß so geschehen, daß sie sowohl eine harte Schneidkante als auch

einen verhältnismäßig weichen, biegsamen Kern erhalten, so daß jähe Stöße nicht den Anlaß dazu geben, daß sie kurz abbrechen. Diesem Ziele kann man sich auf zwei Wegen nähern. Erstens durch Anwendung eines guten Tiegelstahls, der frei von nicht-metallischen Verunreinigungen und arm an Mangan ist, und der nach seiner Beschaffenheit den Härtungseffekt kaum bis über das Ende der Schneidzähne vordringen läßt, und zweitens durch die Art des Abschreckens, die wegen ihrer allgemeinen Anwendbarkeit eine eingehende Beschreibung verdient.

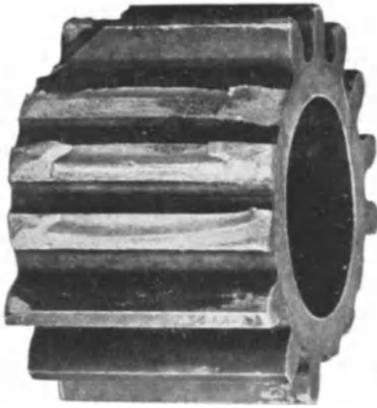


Abb. 94\*. Zahnrad mit abgebrochenen Zähnen.  $\frac{1}{2}$  nat. Größe.

Das Härten irgend eines gezähnten Werkzeuges muß so geschehen, daß der Härtungseffekt eben bis zum Fuße der Zähne dringt, wodurch nicht nur die Lebensdauer des Werkzeuges verlängert, sondern auch die Gefahr von Härtespannungen auf ein Mindestmaß beschränkt wird. Das Verfahren, das als unterbrochene Härtung bekannt ist, besteht darin, daß das Werkzeug in Wasser abgeschreckt wird, bis die rote Farbe von der Oberfläche verschwunden ist. Man

bring es dann in ein Ölbad, bis es kalt geworden ist. Die Wärme, die vor dem Einbringen in das Öl noch im Innern des Werkzeuges zurückgeblieben war, hält es weich, und diese zurückgebliebene Wärme dringt, während das Stück im Ölbad verweilt, allmählich bis zu den Kanten der Zähne vor, kann sie aber

bring es dann in ein Ölbad, bis es kalt geworden ist. Die Wärme, die vor dem Einbringen in das Öl noch im Innern des Werkzeuges zurückgeblieben war, hält es weich, und diese zurückgebliebene Wärme dringt, während das Stück im Ölbad verweilt, allmählich bis zu den Kanten der Zähne vor, kann sie aber

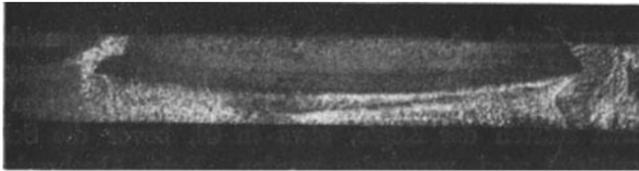


Abb. 95\*. Bruchfläche eines abgebrochenen Zahnes eines Zahnrades (zu Abb. 94). Nat. Größe.

bring es dann in ein Ölbad, bis es kalt geworden ist. Die Wärme, die vor dem Einbringen in das Öl noch im Innern des Werkzeuges zurückgeblieben war, hält es weich, und diese zurückgebliebene Wärme dringt, während das Stück im Ölbad verweilt, allmählich bis zu den Kanten der Zähne vor, kann sie aber

höchstens nur bis zur Wärme des umgebenden Öles anlassen. Auf diese Weise können Werkzeuge tadellos gehärtet werden, die sonst beim unmittelbaren Abschrecken reißen würden. Bei fortlaufender Herstellung derselben Art Werkzeuge lernt der Härter schnell und richtig, wie lange sie am besten in Wasser zu kühlen sind, so daß nach dem Ölbad ein weiteres Anlassen nicht erforderlich wird.

Ein ähnliches Ergebnis kann beim Härten von Reibahlen, Gewindebohrern usw. dadurch erzielt werden, daß man die Werkzeuge in einem Blei- oder Salzbade erhitzt, bis die Zähne rot sind, worauf die Werkzeuge dann abgeschreckt werden. In dessen ist dieses Verfahren nicht so zuverlässig wie die unterbrochene Hartung. Es ist verhältnismäßig leicht, das Verziehen bei Werkzeugen zu vermeiden, bei denen der Kern weich gelassen wurde.



Abb. 96\*. Bogenförmig abgebrochene Zähne eines gehärteten Zahnrades.  
 $\frac{2}{3}$  nat. Größe.

Fräser müssen ebenfalls zuerst in Wasser, bis die Zähne ihre rote Farbe verlieren, und dann in Öl abgeschreckt werden. Scharfe Kanten bei Keilnuten von im Einsatz zu härtenden Zahnrädern sowie bei Fräsern, müssen aus den auf S. 91 dargestellten Gründen vermieden werden. Wenn Zähne an gehärteten Zahnrädern ganz abbrechen, so tun sie es gewöhnlich längs bogenförmiger Risse, und zwar, weil sie überhitzt worden sind oder weil sie schlecht abgeschreckt wurden oder aus beiden Gründen (Abb. 94, 95 und 96).

Das Härten von Walzen geschieht am besten folgendermaßen<sup>1)</sup>:

„Die Gefahr des Reißen von innen wird durch Durchbohrung der Walze schon bei ihrer Herstellung herabgemindert.

<sup>1)</sup> Thallner, a. a. O., S. 158.

An der Walze wird die ganze Oberfläche  $a-a$ ,  $b-b$  (Abb. 97) hart gewünscht, die Zapfen  $z-z$  sollen möglichst weich und zähe bleiben.

Vor der Erwärmung gibt man den Zapfen  $z-z$  eine Umhüllung von Lehm oder Ton, welchem man zur besseren Bindung Kuhhaare und, um ein Abspringen infolge der Schwindung beim Erwärmen hintanzuhalten, Schamotte, Graphit, Ziegelmehl aus feuerfesten Ziegeln usw. beimengt. Man stampft diese Mischung zwischen den Zapfen und ein darüber geschobenes Blechrohr von größtem Durchmesser der Walze fest. Bei  $m-m$  ordnet man auf die Zapfen Blechscheiben, welche über den Rand der Walze hervorragen, an. Nun wird noch die Durchbohrung, welche an den Enden Schraubengewinde enthält, bis zu diesen durch trockenen Lehm verstampft.

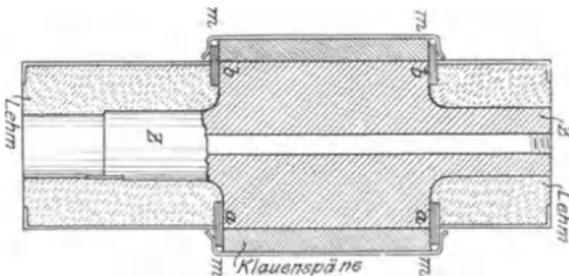


Abb. 97. Härten von Walzen.

Bei der Erwärmung der Walze, welche oft den Zeitraum von einigen Stunden beansprucht, ist zu beachten, daß die Oberfläche in dieser Zeit ebensowohl der schädlichen Einwirkung der Verbrennungsgase, als der Entkohlung ausgesetzt ist, wenn man nicht für zweckmäßigen Schutz sorgt. Hierzu wird die Walze in ein Blechrohr von etwas größerem Durchmesser geschoben, der Zwischenraum mit Klauenspänen oder mit Ruß verstampft, worauf die Ränder des Rohres umgebogen werden.

Nun kann die Walze in den am wenigsten erhitzten Teil eines genügend breiten Flammofens gebracht und der langsamen Erwärmung überlassen werden. Man zieht zur Erwärmung einen Flammofen vor, weil andere Einrichtungen, z. B. bei Erwärmung durch Holzkohle u. dgl., schwer zu treffen sind, wenn die Walze zur Erzielung gleichmäßiger Temperatur gewendet und gedreht werden soll. Der verwendete Flammofen soll einen möglichst

langen Herd haben, um eine gegen die Feuerungsstelle zu allmählich gesteigerte Hitze herbeizuführen.

Die Walze wird nach und nach der höheren Hitze entgegengerollt und um so öfter gewendet, je wärmer sie wird. Ist anzunehmen, daß dieselbe die geeignete Härtetemperatur erreicht hat, so wird ein Haken in das am Ende des Zapfens hergestellte Gewinde geschraubt, die Walze daran mittels Kette aufgehängt, vom leicht zu entfernenden äußeren Blechmantel befreit und mittels Drahtbürste von anhaftenden Klauen rasch gereinigt. Nun wird die Walze in das nahe dem Ofen befindliche Härtebad getaucht.

Da es nicht möglich ist, eine Walze von großem Durchmesser durch Bewegung im Wasser gleichmäßig abzukühlen, so bewegt man das Wasser, während die Walze in ihrer Ruhelage verbleibt.

Den Zweck erreicht man durch eine Anordnung, die in Abb. 98 dargestellt ist. Man wählt hierzu ein Gefäß von genügender Tiefe und 2—4fachem Durchmesser der Walze, in welches man Rohrleitungen führt, durch die Druckwasser in schräger Richtung ausströmt.

Die Öffnungen der Rohre macht man breit und schlitzförmig und ordnet viele solcher in verschiedener Höhe verteilt an, so daß das Wasser um die Walze herum in stark wirbelnde Bewegung versetzt wird. Die Art der Anwendung ist aus Abb. 98 ersichtlich.“

Handelt es sich um das Härten von Werkzeugen, die eine enge Bohrung besitzen, so muß diese Bohrung dadurch gehärtet werden, daß man gegen sie ein mit einem Flansch versehenes Wasserleitungsrohr drückt, und zwischen Flansch und Werkstück einen Asbestring zwecks Dichtung zur Erzielung des Wasserabschlusses zwischenlegt. Ist dagegen die Bohrung des zu härtenen Werkzeuges weit, dann kann ein Stück Gasrohr, das an dem

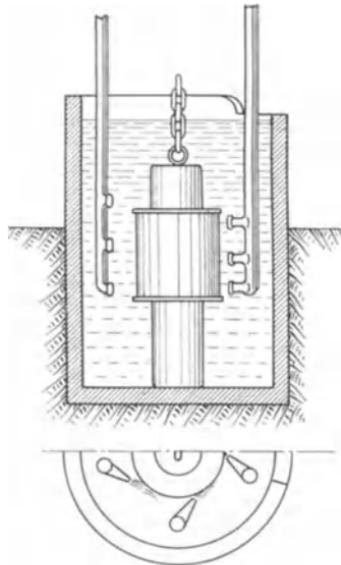


Abb. 98. Härten von Walzen.

geschlossenen Ende durchlöchert ist, durch das Werkzeug gesteckt werden, so daß kräftige Wasserstrahlen, die durch die Löcher des Rohres spritzen, die Teile treffen, die zu härten sind. Gegenstände, wie z. B. der Laufring eines Kugellagers, können auch mit einem Sprühregen gehärtet werden, wie dies in Abb. 99 dargestellt ist. Da Kugellager jetzt häufig aus im Einsatz zu härtendem weichem Stahl hergestellt werden, so werden sie gewöhnlich unmittelbar nach dem Einsetzen abgeschreckt, und

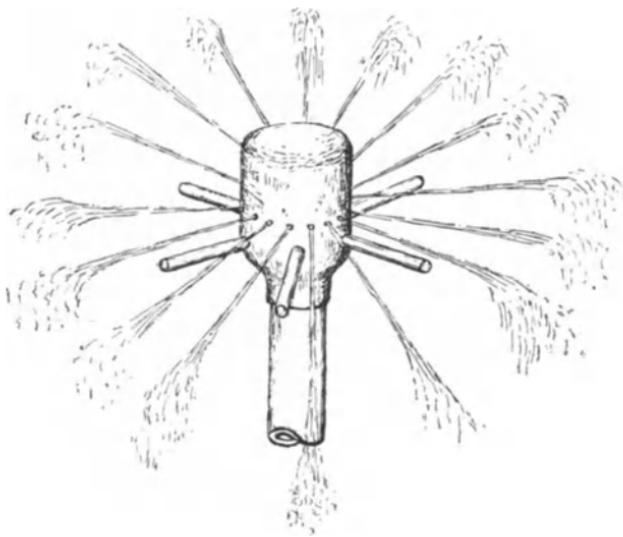


Abb. 99. Vorrichtung zum Innen-Härten von ringförmigen Stahlkörpern.

zwar so, daß sie entweder senkrecht an einem Haken oder waagrecht an einem Stück Draht, von dem das eine Ende spiralförmig und senkrecht zur Länge des Drahtes umgebogen ist, aufgehängt werden.

Messerklingen werden häufig in einem schwachen Koks- oder Holzkohlenfeuer erhitzt, jedoch ist ein flaches Salzbad, in das ein Drahtkorb eingehängt ist, eine zweckmäßigere Einrichtung. Die erhitzten Klingen werden in der Weise abgeschreckt, daß sie zuerst mit dem Rücken fast waagrecht durch das Wasser gezogen werden. Rasiermesser werden zuweilen nicht angelassen. Tischmesser können in losen Haufen in einem Ölbad und Federmesser dadurch angelassen werden, daß man ihre Rücken

in geschmolzenes Blei oder auf eine heiße Platte legt oder die Rücken, wenn es sich nur um eine kleine Anzahl von Messern handelt, in die Flamme einer Spirituslampe hält, bis die gewünschte Anlauffarbe bis zur Schneide vorgedrungen ist.

Lange Streifen aus dünnem Stahl werden zum Härten in der Weise erhitzt, daß sie mit geeigneter Geschwindigkeit durch ein Rohr geführt werden, das sich zwischen den gegenüberliegenden Wänden eines Härteofens erstreckt. Sobald der Streifen das Austrittsende des Rohres erreicht hat, muß er die Härte-temperatur erlangt haben. Dann läuft er durch ein Ölbad und darauf durch einen Anlaßofen oder Bleitopf, zuweilen auch zuerst durch ein Paar polierte Walzen und darauf durch den Anlaßofen. In diesem erhält der Streifen die charakteristische blaue Anlauffarbe. Dieses Verfahren wird in ähnlicher Weise auch für Stahldraht angewendet. Wenn der Draht reich an Mangan und nicht zu dick ist, erhält er schon beim Passieren aus dem Härteofen durch die Luft bis zur Wickelmaschine eine hohe Zugfestigkeit, dagegen werden die übrigen mechanischen Eigenschaften des Drahtes, z. B. Elastizitätsgrenze, Querschnittsverminderung usw. ungünstiger sein wie bei Draht, der in Öl gehärtet und angelassen ist.

Kleine Handhämmer werden ganz erhitzt und dann mit einer raschen Schwenkung durch den Härtetrog gezogen. Sie werden dann, während sie noch ganz rot sind, im Stielloch an einem Pflock aufgehängt, und zwar so, daß sich die Hammerbahn unter der Wasseroberfläche und die Finne unter einem aus einem Leitungshahn herabfallenden Wasserstrahl befindet. Bei besonderen Formen, z. B. bei Hämmern für Maschinenschlosser, kann die Finne in ein kleines halbkugelförmiges Becken eintauchen, durch welches andauernd frisches Wasser läuft, während auf die Hammerbahn ein Wasserstrahl auftrifft, der aus einem unmittelbar darüber befindlichen Wasserzulaufhahn herabfällt. Die beiden Schlagflächen kleiner Hämmer können jede für sich auch dadurch schnell auf die geeignete Härtetemperatur gebracht werden, daß sie in einem Bleibade erhitzt werden. Größere Hämmer werden in derselben Art behandelt, jedoch ist es praktischer, sie in einem Flammofen etwas vorzuwärmen. Große Hämmer (Schlägel) werden zweckmäßig zwischen zwei horizontal angebrachten Brausen gehärtet. Der erhitzte Hammer wird mit dem Stielloch nach oben auf einen kleinen Metallklotz gelegt

(Abb. 100). Darauf werden gegen die Hammerbahnen gegenüberstehende Wasserbrausen in Tätigkeit gesetzt, die die Bahnen des Hammers schnell abkühlen, während die Mitte des Hammers um das Stielloch herum noch heiß bleibt. Das Wasser wird dann abgestellt und die Bahnen des Hammers werden schnell blank gerieben, um die gewünschte Anlauffarbe zu beobachten, die durch die noch im Innern des Hammers vorhandene Wärme hervorgerufen wird, worauf der Hammer ganz abgekühlt wird.

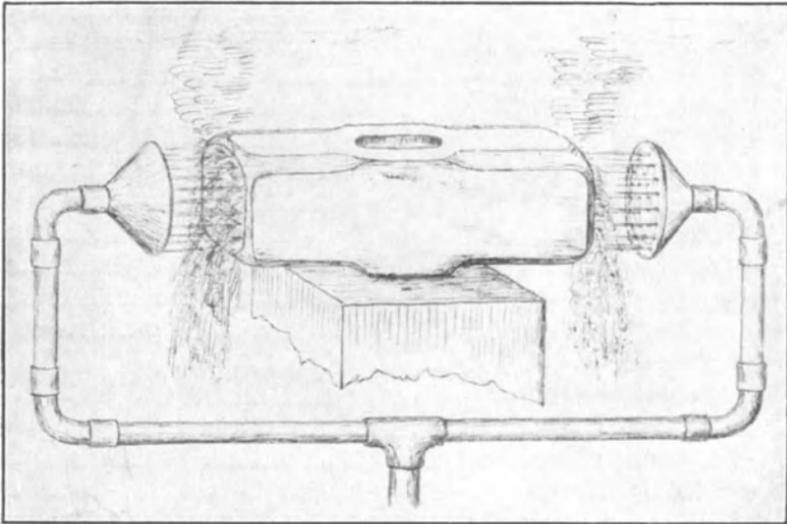


Abb. 100. Härten eines Hammers.

Hämmer, die aus weichem Stahl gefertigt sind, brauchen nicht angelassen zu werden. Die Bahnen eines großen Hammers können auch in einem gewöhnlichen Bottich, der nur mit einem Wasserhahn versehen ist, wie folgt gehärtet werden: Der erhitzte Hammer wird in der Mitte mit einer Zange ergriffen und der Länge nach und wieder zurück durch den Härtebottich geschwenkt. Das eine Ende des Hammers wird dann einige Sekunden lang unter den Wasserhahn gehalten, während das andere in das Wasser des Bottichs eintaucht. Der Hammer wird dann flink gedreht und wieder durch den Bottich geschwenkt und darauf, aber diesmal mit dem anderen Ende, unter den Wasserhahn gehalten. Dies wird mehrere Male wiederholt, und zwar je nach

der Größe des Hammers drei- bis viermal, bis die Bahnen nahezu kalt sind.

Amboße, bei denen die Bahn gehärtet werden soll, können in einem Bleibade mit der Bahn nach unten gehärtet werden. Die gehärtete Bahn wird, wenn sie zu dünn ausgefallen ist, reißen und unter den Schlägen eines Hammers ausbröckeln. Schmiedeamboße und ähnliche ebene Gegenstände, die in scharfen Kanten und Ecken endigen, werden am besten unter einer kräftigen Brause gehärtet. Sie werden zu diesem Behufe auf einen Rost oder quer über zwei dreikantige Stahlstücke, ebenfalls mit der ebenen Fläche nach unten, in den Wasserbottich unmittelbar über einer Brause, durch welche kaltes Wasser hochspritzt, gelegt. Der Amboß muß soweit überbraust werden, als er die Härtetemperatur angenommen hat, da die nicht von dem Wasser getroffenen, aber auf die Härtetemperatur erhitzten Teile sich zusammenziehen und Veranlassung zum Einreißen der Ecken des Amboßes geben.

Das Härten von gesenkgeschmiedeten Prägestempeln zur Erzeugung flächenreicher Gegenstände verlangt bedeutende Erfahrung und größere Kunstfertigkeit, als aus einer Beschreibung erworben werden kann. In vielen Fällen kann das Verderben des Werkzeuges infolge scharfer Winkel und Ecken nicht vermieden werden. Mit Ausnahme der einfachsten Formen muß der Prägestempel schon aus dem Wasser gezogen werden, ehe er ganz kalt geworden ist, dann auf der Oberfläche blank gemacht und durch die Hitze angelassen werden, die noch in der dicken, nicht abgekühlten Rückseite zurückgeblieben ist. Erfahrungsgemäß sind gewisse Teile eines verwickelten Prägestempels am meisten geneigt, abzuspringen oder später Risse zu zeigen. Es ist notwendig, diese Teile bis zu einem höheren Grade dadurch anzulassen, daß man auf sie Stücke von heißem Eisen legt. In ähnlicher Weise können gewisse andere Teile des Prägestempels ein schnelles Abkühlen durch örtliche Anwendung einer beschränkten Menge Öl oder Wasser erlangen. Wenn die Prägestempel zum Härten in einem Flamm- oder Muffelofen erhitzt werden, müssen die Arbeitsflächen mit Holzkohle oder ähnlichem Material zum Schutze gegen Entkohlung bedeckt werden. Wenn dies versäumt wird, so bleibt die äußerste Schicht der Arbeitsfläche nach dem Härten weich, obgleich der Stempel unmittelbar darunter hart ist.

## IX. Fehlerhafte Werkzeuge.

Alle Risse in Werkzeugen werden meist auf Überhitzung oder auf irgend eine andere falsche Anwendung des Härteverfahrens zurückgeführt. Diese gewöhnlich verbreitete Ansicht hat aber durchaus nicht so allgemeine Gültigkeit, wie man in der Praxis anzunehmen geneigt ist. Denn die Ursache zu Rissen muß

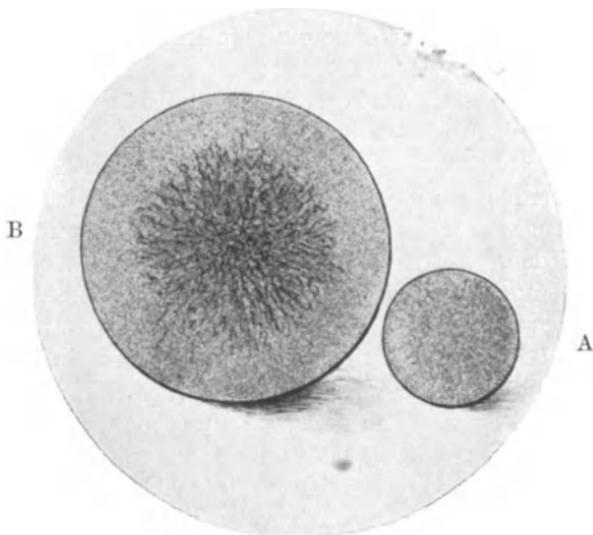


Abb. 101. Gehärteter Stahl mit und ohne Zonenbildung.

vielfach der zu großen Masse und der Gestalt des gehärteten Körpers, seiner außergewöhnlichen Form oder der ungeeigneten Zusammensetzung des Rohstahls, aus dem er gefertigt wurde, zugeschrieben werden.

Das verschiedenartige Verhalten eines Stahls mit großen und kleinen Abmessungen während des Härtens zeigt die Abb. 101 A und B. In Abb. 101 wurde A so schnell abgekühlt, daß das charakte-

ristische feinkörnige und mattglänzende Gefüge des gehärteten Stahls sich durch den ganzen Gegenstand erstreckte. B dagegen enthält einen dunkleren Kern, der ungehärtet geblieben ist. Es ist selbstverständlich, daß ein großes Stahlstück in einem noch höheren Grade einen Kern besitzen wird, der infolge der geringeren Abkühlungsgeschwindigkeit während des Abschreckens im Innern schätzungsweise nicht härter sein wird als ein geschmiedetes und

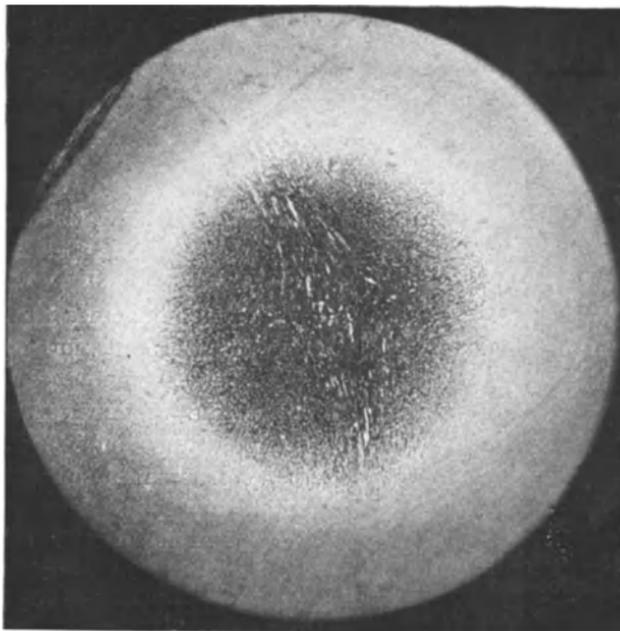


Abb. 102\*. Gehärteter Werkzeugstahl mit 1,23% Kohlenstoff.  
V = 5.

nicht gehärtetes Stück Stahl. Noch deutlicher läßt sich der dunkle ungehärtete Kern an einem Werkstück unterscheiden, bei welchem die Oberfläche poliert und geätzt wurde (Abb. 102), um das verschiedenartige Gefüge zwischen Rand und Kern besser hervorzuheben. Durch die Ätzung ist es gelungen, die scharfe Trennung zwischen dem gehärteten und ungehärteten Teil deutlich erkennbar zu machen, wie dies auch aus Abb. 103 zu sehen ist.

Nach den früheren Betrachtungen kann als sicher angenommen werden, daß die äußere Schicht eines abgeschreckten und einen ungehärteten Kern aufweisenden Stahlstabes eine größere Volumenvermehrung erfahren hat als der Kern. Von der Oberfläche zur Mitte muß die Ausdehnung mit der Härte abnehmen und zwar um einen ganz wesentlichen Betrag an der Stelle, wo die in den Abb. 101 B und 102 erkenntlichen hellen und dunklen Teile sich berühren, wo also der harte Martensit in den weichen Perlit (oder in irgend eine Übergangsform vom Martensit zum Perlit) übergeht.

Die dunklen Teile sind aber fest mit den harten, unnachgiebigen und bleibend ausgedehnten äußeren martensitischen Schichten verbunden, so daß also in dem ungehärteten Kern des Stahls Spannungen auftreten, die so lange vorhanden sind, als der betreffende gehärtete Gegenstand unversehrt ist<sup>1)</sup>. Wenn aber die Beanspruchung eines Stahls seine Widerstandsfähigkeit nur an einer einzigen kleinen Stelle überschreitet, so führen die in ihm vorhandenen Spannungen unbedingt zum Bruche oder veranlassen mindestens, daß der Stahl aufreißt.

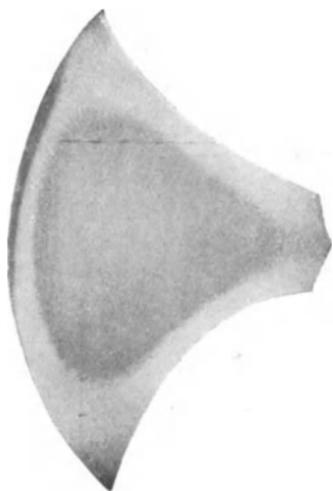


Abb. 103\*. Hälfte eines gehärteten Spiralbohrers.  $V = 3$ .

Als Beispiel hierfür seien die Abb. 104 und 105 angeführt, die beim Härten unbrauchbar gewordene Kaliberbolzen darstellen. Sie lassen

deutlich einen in Richtung der Längsachse verlaufenden Riß erkennen, der sich durch den ganzen Kaliberbolzen hinzieht, denselben also in zwei Teile spaltet (Abb 106). Bei dem zweiten Kaliberbolzen (rechts in Abb. 106) ist die eine Hälfte ebenfalls und zwar fast genau in der Mitte gespalten, außerdem ist

<sup>1)</sup> Wenn große Gegenstände, z. B. Schiffswellen, bei denen peinlichste Genauigkeit in den Abmessungen verlangt wird, bearbeitet werden, dann wird des öfteren bemerkt, daß sich die Abmessungen nach der Bearbeitung (Drehen, Fräsen usw.) geändert haben, d. h. nach Entfernung der vergrößerten Oberfläche verliert das Innere des Materials seine Spannung und hat daher Gelegenheit, wieder seine normale Größe anzunehmen.

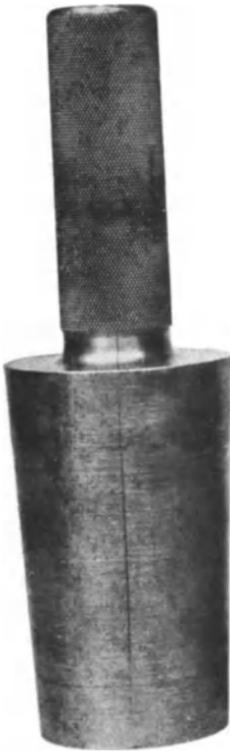


Abb. 104\*.

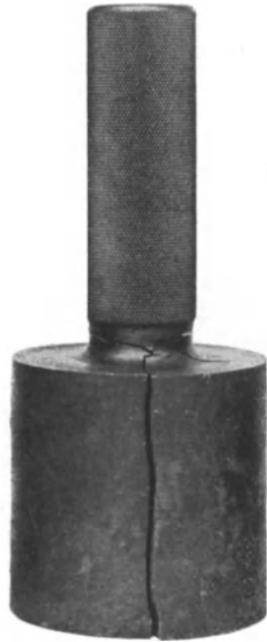


Abb. 105\*.

Beim Härten gerissene Kaliberhölzer (etwa  $\frac{1}{2}$  nat. Größe).

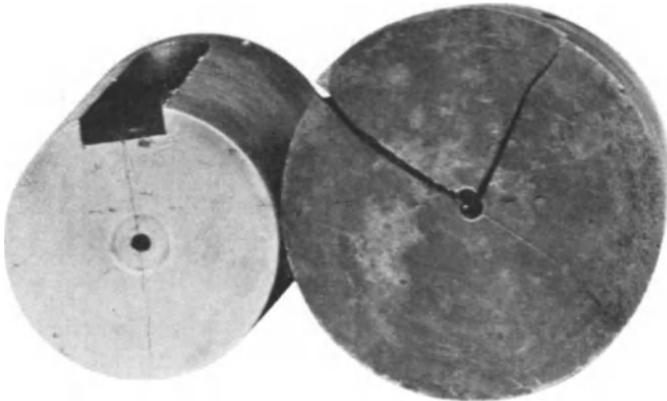


Abb. 106\*. Wie Abb. 104 und 105. Von unten gesehen.

noch der Griff abgeplatzt. Die eine Hälfte der Bruchfläche des zweiten Kaliberbolzens ist in Abb. 107 wiedergegeben. Die äußere harte martensitische Schicht ist fast durch eine scharfe Linie von dem weicheren perlitischen, nicht gehärteten Kern, getrennt. Da die äußere gehärtete Schicht verhältnismäßig dünn ist, so konnte sie den vom Kern ausgeübten starken Kontraktionsbestrebungen keinen Widerstand leisten, mußte also nachgeben, wodurch das Zerspringen des Kaliberbolzens herbeigeführt wurde. Daß die dünne äußere Schicht tatsächlich den inneren Spannungen des perlitischen Kerns nicht standhalten konnte, geht auch daraus hervor,



Abb. 107\*. Bruchfläche des Kaliberbolzens der Abb. 105 (etwa nat. Größe).



Abb. 108\*. Der im Kern gerissene Griff des Kaliberbolzens der Abb. 105 (wenig vergrößert)

daß der Längsriß sich bis in den Griff des Bolzens fortsetzt. Einen Querschnitt dieses Griffes zeigt Abb. 108, aus welcher zu ersehen ist, daß der Riß sich im weicheren Kern befindet, weil hier die martensitische Außenschicht wesentlich stärker ist, so daß sie nicht platzte, dafür aber das Aufreißen des Kernes eintrat.

Daß der Riß in diesem Kaliberbolzen letzteren in mehrere Teile trennte, ist auch wohl noch dem Umstande zuzuschreiben, daß der verwendete Stahl mit 1,12% Kohlenstoff weit über die sonst übliche Härtetemperatur von höchstens 760° C erhitzt worden

war, was daraus hervorging, daß der Martensit ein ziemlich grobkörniges Gefüge besaß. Mithin ist das Platzen des Kaliberbolzens auf überhitzte, also unsachgemäße Härtung zurückzuführen <sup>1)</sup>. Auch bei gehärteten Drehstählen, Zahnrädern usw. kann man ähnliche Brucherscheinungen beobachten (Abb. 109 und 110).

Nach den vorhergehenden Ausführungen ist es klar, daß jeder Fehler im Stahl, z. B. eine aufgerissene Mitte, eine unvollkommen geschweißte Gußblase oder fremde Aussonderungen, auch Seigerungen, frühzeitigen Bruch bei einer wesentlich geringeren Beanspruchung als es sonst der Fall wäre, hervorrufen muß. Ganz be-

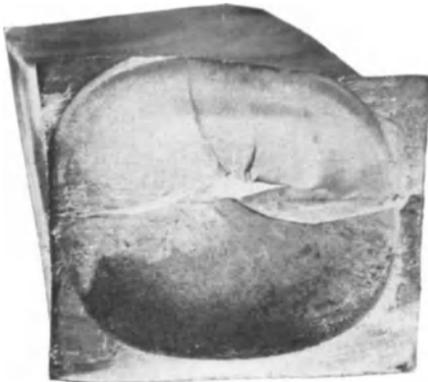


Abb. 109\*. Bruchfläche eines gehärteten Drehstahls (hinten der Schneide), nat. Größe.



Abb. 110\*. Bruchfläche eines beim Härten geplatzenen Zahnrades (etwa  $\frac{1}{2}$  nat. Größe).

sonders beobachtet man die Entstehung von Rissen bei Schlackeneinschlüssen (Abb. 47 und 48). Aus dieser Betrachtung geht ferner hervor, daß jede mit einer Ausdehnung des äußeren Teiles des Stahlstückes verbundene Änderung, wenn hierdurch die Unnachgiebigkeit dieses äußeren Teiles nicht verringert wird, auch einen so großen Einfluß auf den inneren, ein anderes Gefüge besitzenden Kern ausüben muß, daß seine Festigkeit selbst bei

<sup>1)</sup> Um ein Platzen von massigen Gegenständen (Kaliberbolzen usw.) beim Härten möglichst zu vermeiden, werden dieselben zweckmäßig ausgebohrt, oder es muß ein Material gewählt werden, z. B. Chrom-Wolframbstahl (auch Nickelstähle), das keine oder nur geringe Änderungen im Volumen beim Härten erleidet.

ganz geringer Beanspruchung bereits überschritten wird, und daß er zerreißen oder in mehrere Teile zerfallen wird. Eine derartige, die Festigkeit des inneren Teiles überschreitende Beanspruchung kann schon darin liegen, daß man das betreffende Stahlstück zu schnell beim Anlassen erhitzt und auf diese Weise den Kern zum Reißen bringt. Daher kann ein Stahlstab, der tadellos gehärtet war, beim Anlassen innere Risse erhalten, wenn er nicht sehr langsam erhitzt wurde. Risse entstehen ferner in einem Stahlstück, wenn dasselbe unvermittelt von einem größeren zu einem geringeren Querschnitt übergeht und in dieser Form gehärtet und angelassen wird. Schneidet man z. B. von einem Rundstabe von ca. 40 mm Durchmesser längere Stücke ab und gibt diesen Stücken die bekannte Form der Zerreißstäbe, dann zeigen diese Stücke nach dem Härten und Anlassen meist Längsrisse, die in dem dickeren Teile beginnen und sich bis in die dünneren Teile hin fortsetzen, wie dies aus Abb. 111 zu ersehen ist. Wenn dagegen aus derselben Stange gleich lange Stücke abgeschnitten und ohne Veränderung ihres Querschnittes gehärtet und angelassen werden, dann können auch beim Zerbrechen dieser Stücke Risse im Innern gewöhnlich nicht wahrgenommen werden. In beiden Versuchsreihen sind die mechanischen Eigenschaften des gehärteten Materials praktisch dieselben, wenn man den geringeren Querschnitt bei den in der Mitte abgedrehten Stücken nicht berücksichtigt. Würde man Rundstäbe von derselben Stahlstange, die entweder nur den größeren Querschnitt der stärkeren Teile oder nur den geringeren Querschnitt des mittleren dünnen Teils des in Abb. 111 dargestellten Probestabes aufweisen, in genau der gleichen Art härten und anlassen, dann werden innere Risse in diesen Stücken gewöhnlich nicht vorkommen. Die in Abb. 111 dargestellten inneren Risse sind also darauf zurückzuführen, daß Spannungen zwischen der äußeren harten Schicht und dem ungehärteten Kern in einem Werkstück dann sehr leicht auftreten, wenn dasselbe sehr verschiedene Querschnitte aufweist, die unvermittelt ineinander übergehen (s. Abb. 80).

Die auf diese Ursachen zurückzuführenden Risse treten bei gewissen Stahlsorten, die zu außergewöhnlichen Formen verarbeitet worden sind, leichter auf, wenn das Härten bei mittleren Temperaturen vorgenommen wird, als wenn entweder höhere oder niedere Temperaturen zur Anwendung kommen.

Es ist ferner bekannt, daß beim Herausnehmen aus der Härteflüssigkeit nicht vollständig abgekühlte Stahlgegenstände rissig werden oder zerbrechen, die gesund bleiben, wenn sie in dem Bade gelassen werden, bis sie ganz kalt sind. Die Gründe für dieses Verhalten, besonders bei Gegenständen mit unvermittelt

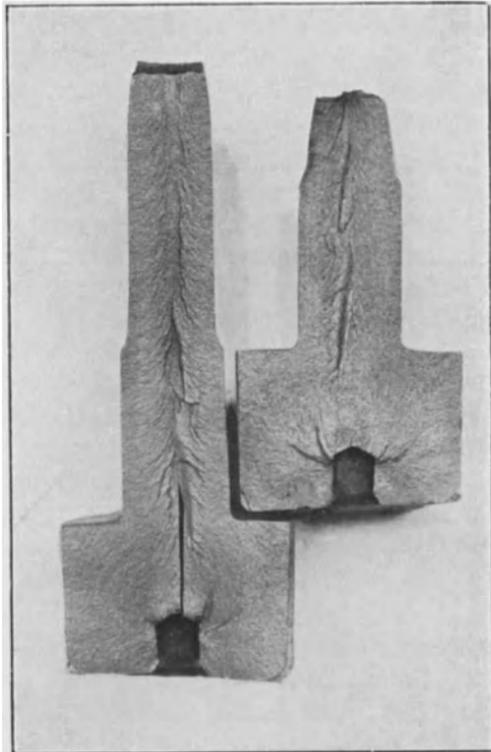


Abb 111. Durch Härten gerissene Stücke von Zerreißstäben.

in einander übergehenden verschiedenen Querschnitten, sind wahrscheinlich die folgenden:

1. Der innere Teil ist beim vorzeitigen Herausnehmen des noch nicht vollständig abgekühlten Werkstückes aus der Härteflüssigkeit noch so heiß, daß noch nicht seine kritische Ausdehnungszone überschritten ist, so daß auf die äußere unnachgiebige Schicht eine Druckwirkung hervorgerufen

wird, die aber nicht eintritt, wenn der Gegenstand bis zur völligen Abkühlung in der Harteflüssigkeit verbleibt.

2. Die gehärtete und daher vergrößerte Außenschicht dehnt sich durch die Wärme des heißen Kerns noch weiter aus und zerreißt den Kern.

Aus dem unter 1. beschriebenen Grunde wird der Riß seinen Ursprung an der Außenseite nehmen und bei dem Grunde unter 2. wird er von innen ausgehen. Wenn beides zusammentrifft, wird das Werkstück wahrscheinlich mit explosionsartiger Gewalt in viele Stücke zerbrechen.

Hierher gehörige Beobachtungen konnten z. B. an großen gehärteten Kaliberbolzen gemacht werden. Diese Kaliberbolzen sprangen zwar nicht während des Härtens, sondern erst nach längerem Gebrauche mit einem Knall auseinander. Das Zerspringen hat sicherlich darin seinen Grund, daß an irgend einer Stelle des Kaliberbolzens die verhältnismäßig geringe Widerstandsfähigkeit der dünnen äußeren martensitischen Schicht durch Schlag, Stoß oder ähnliche mechanische Einflüsse vermindert wurde und der übergroßen Zugbeanspruchung des perlitischen Kernes nicht mehr standhalten konnte. Zugleich sprang der weiche Kern, weil durch die plötzliche Aufhebung der nach außen gerichteten Zugkraft der martensitischen Außenzone die gespannten inneren Teile über ihre Gleichgewichtslage hinausschnellten und dadurch unbedingt auch ein Zerreißen des weichen Kernes herbeiführen mußten.

Der Unterschied zwischen einem Stabe, der reißt, und einem solchen, der nicht reißt, kann viel geringer sein, als die Unterschiede, welche unter einer Anzahl rissefreier Stäbe vorhanden sind. Voneinander nicht unterscheidbare Werkzeuge, die durch ihre innere Spannung schon nahezu bis zu ihrer Festigkeitsgrenze beansprucht sind, können unbeanstandet die Werkstatt verlassen. Am leichtesten können innere Spannungen oder andere innere Fehler bei gehärteten Werkstücken mit vollständig runden Querschnitten vorhanden sein und zwar aus dem Grunde, weil bei runden Stäben die Spannungen gleichmäßig zur Mitte zusammenlaufen und ferner, weil (beim Anlassen) die Wärme gleichmäßig verteilt ist und die Ausdehnung daher verhältnismäßig groß sein muß, ehe irgend ein Teil der starren Oberfläche heiß genug ist, um dem Druck des Kernes nachgeben zu können. Bei einem quadratischen Stab

nehmen die Ecken und Kanten schnell die Wärme des Anlaßbades an, bleiben daher weich und nachgiebig, so daß die inneren Spannungen die Oberhand gewinnen und sich nach diesen Ecken ausgleichen können, ehe die Oberflächen-Ausdehnung zum Bruch führt. Auch kann unter gleichen Bedingungen die Oberfläche von flachen Stäben besser nachgeben als irgend ein Teil der Oberfläche eines kreisrunden Querschnitts. Wenn der Stahl sonst nicht fehlerhaft ist, so brechen flache Stücke aus solchem Material weniger leicht, selbst wenn sie sehr dick sind und niemals, wenn sie dünn sind. Dünne Klingen, die aus Blechen oder Bandeseisen, welche einen Schlackeneinschluß oder eine unverschweißte Gußblase enthalten, hergestellt sind, werden häufig beim Härten aufbersten, wie in Abb. 112 dargestellt ist.

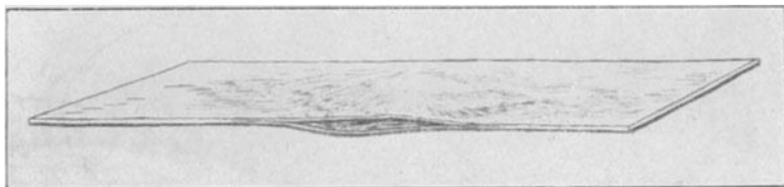


Abb. 112. Durch eine Gußblase verursachtes Aufbersten von Stahlblech nach dem Härten.

Die Art der Richtung, in welcher ein Riß verläuft, kann ein Beweis für seinen Ursprung sein. Ein erfahrener Härter würde niemals vermuten, daß die halbmondförmigen oder daumennagelähnlichen Risse, die man bei Meißeln, Hobeisen, Beilen usw. antrifft, auf fehlerhaftes Schmieden zurückzuführen sind (S. 62). Sie können auch ungeeignetem Rohmaterial, Überhitzung, sorglosem Abschrecken oder irgend einem anderen Versehen zugeschrieben werden. Nicht nur Risse dieser Art, sondern fast alle in Werkzeugen beobachteten Risse, die ganz allein aus Härtespannungen entstehen, verlaufen in einer ebenen Fläche, aus deren Krümmung Rückschlüsse über die Art des Erhitzens oder die Art des Abschreckens abgeleitet werden können. Andererseits ist ein Riß, der sich unregelmäßig gabelt, wenn auch die Folgen des Überhitzens oder andere Fehler nicht zum Vorschein kommen, gewöhnlich infolge des Vorhandenseins von freiem Zementit oder durch Kaltbearbeitung entstanden. Zuweilen ist ein solcher Riß auch auf beide Ursachen zurückzuführen.

Ein Riß läuft mit Vorliebe den Weg entlang, der durch den freien Zementit vorgezeichnet ist, weil Zementit brüchig und wenig widerstandsfähig ist und weil auch der verschiedene Grad der Ausdehnung von Zementit und dem Material, in welchem er eingebettet liegt, während der Erhitzung und Abkühlung sowohl den Ursprung als auch die Ausdehnung des Risses begünstigt. Die Abb. 62 und 63 sind typische Beispiele für diese Art Risse. Hierher gehören auch solche Risse, die in einem Schlackeneinschluß ihren Anfang nehmen und längs einer Reihe solcher Einschlüsse ihren Weg fortsetzen (Abb. 47). Die mikroskopische Prüfung und die Kenntnis von der Zusammensetzung des Stahls befähigen uns, die wirklichen Ursachen für solche Risse zu erkennen.

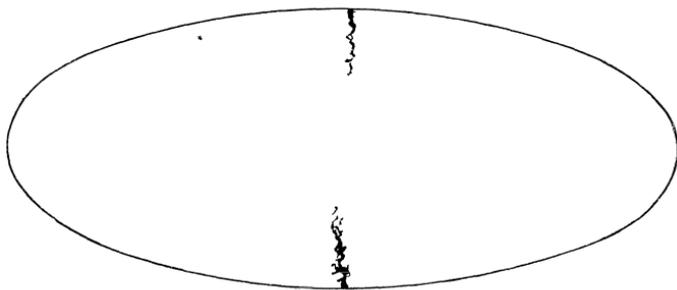


Abb. 113. Riß bei einem symmetrischen Gegenstand, der zwischen Walzen gestaucht wurde.

Kaltbearbeitung durch den blaubruchigen Zustand hindurch (S. 61) oder Drücken zwischen Walzen kann im Stahl, der weder Schlackeneinschlüsse noch freien Zementit enthält, gegabelte Risse erzeugen. Solche Risse sind gewöhnlich erst nach dem Härten sichtbar und erscheinen dann in manchen Fällen auf entgegengesetzten Seiten des gewalzten Gegenstandes, wie es in Abb. 113 dargestellt ist.

Ein Riß kann so fein sein, daß er sich der Entdeckung unmittelbar nach der Härtung des Werkzeugs entzieht und erst sichtbar wird, nachdem das Werkzeug einige Tage oder Wochen gelegen hat. Dagegen können solche Risse leicht bei Gegenständen aufgefunden werden, die mit einem Sandstrahlgebläse gereinigt wurden, wenn sie vor der Reinigung einige Stunden lang in Öl gelegt oder zufällig in Öl gehärtet worden sind, und zwar durch das Öl, das, in den Riß eingedrungen, wieder heraus-

sickert und einen dunklen Fleck auf der hellen Außenseite des Werkstücks hinterläßt. Bei einem in Wasser abgeschreckten Werkzeug oder selbst bei einem in Öl gehärteten Gegenstand, welcher nach dem Anlassen in Wasser abgekühlt oder daran anschließend auf einem nassen Schleifstein abgeschliffen wurde, kann der Riß allmählich durch die Oxydation seiner feuchten Begrenzungsflächen erweitert werden. Da das oxydierte Metall ein größeres Volumen einnimmt als nicht oxydiertes, so drückt es entweder die Seiten des Risses auseinander oder erzwingt sich seinen Weg gewaltsam zwischen ihnen hindurch bis zur Außenseite. Abb. 114 stellt einen solchen Riß dar, der durch kalte Bearbeitung in der Lochwandung eines Feuerkastens aus Kesselblech entstand, und Abb. 115 einen ähnlichen Riß, der in einer in Öl gehärteten Klinge auftrat. Aus der aus einem Riß ausgeschwitzten Flüssigkeit kann geschlossen werden, ob der Riß während des Abschreckens oder bei einer der folgenden Arbeiten entstanden war.



Abb. 114. Riß in der Lochwandung eines Feuerkastens aus Kesselblech. Nat. Größe.

Ein abgeschreckter Stahl, der durch große Härte charakterisiert ist, wird zuweilen als „glashart“ angesprochen, da er in der Tat in den härtesten Teilen so zerbrechlich wie Glas ist. Deshalb wird ein glasharter Stahl dann leicht zerbrechen, wenn er nur in einer bestimmten Richtung stark beansprucht wird. Glasharte Werkzeuge vertragen daher keine Hammerschläge, weil der Hammerschlag eine Formänderung an einer Stelle des Werkzeuges hervorbringt, so daß also an dieser Stelle das Werkzeug mechanisch stärker beansprucht wird als an anderen Stellen. Aber auch durch ungleichmäßige Erwärmung kann ein gehärteter Stahl eine so große örtliche Ausdehnung erfahren, daß er aufreißt oder sogar zerbricht. Wenn z. B. ein gehärtetes Stück Stahl in Gestalt einer langen Stange an einem Ende in wagerechter Lage eingespannt ist, so daß sein freies Ende gegenüber einer Skala ruht und die

Spitze einer Spiritusflamme für einen Augenblick unter die Stange nahe ihrem eingespannten Ende gebracht wird, dann wird sich das freie Ende, entsprechend der Ausdehnung der Unterseite, an der Skala heraufbewegen. Dieser Versuch<sup>1)</sup> zeigt, daß ein Stück des härtesten Stahls sich unter dem Einfluß örtlicher Erwärmung, ohne zu brechen, unbedeutend biegen kann. Wenn

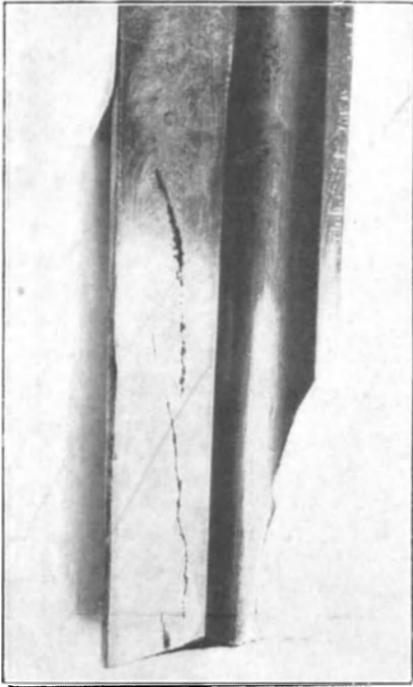


Abb. 115. Riß in einer Säbelklinge.  
Nat. Größe.

aber die Erwärmung stark und daher die örtliche Ausdehnung plötzlich groß wird, dann wird der Stahl wie Glas zerbrechen. Ein solcher Bruch kann eintreten, wenn ein Stück von gehärtetem Stahl unvorsichtig gegen eine sich drehende trockene Schmirgelscheibe gedrückt wird.

Die Gefahr des Zerbrechens durch ungleichmäßige Erwärmung ist bei gewöhnlichen Kohlenstoffstählen nicht so groß, weil mit der Erhöhung der Temperatur schnell eine Erweichung des Materials verbunden ist. Aber Schnelldrehstahl bleibt auch bei viel höheren Temperaturen hart und unbiegsam und die Bruchgefahr ist daher bei örtlicher Erhitzung von Schnelldrehstahl größer. In solchem Falle dehnt sich ein vorhandener und nicht be-

merkter Riß leicht weiter und tiefer aus, wenn der Stahl auf einer Schmirgelscheibe abgeschliffen wird. Solche Risse, die als Schleifrisse bezeichnet werden, sind in Abb. 116 zu erkennen. Bei ausgeglühtem Material können die Risse wieder leicht ausgeschliffen werden, so daß ohne besondere Vorsicht der Stahl dann weiter behandelt werden kann.

<sup>1)</sup> Aus Ostwald: „Die Schule der Chemie“.

Es ist bereits darauf hingewiesen worden, daß Werkzeuge leichter durch Überhitzung als durch andere Ursachen verdorben werden. Diese Behauptung ist vielleicht ein wenig übertrieben. Es ist oft nicht schwer, Überhitzung festzustellen, dagegen bereitet der Nachweis anderer Fehler, besonders wenn Überhitzung mitgewirkt hat, größere Schwierigkeit. Der unerfahrene Härter, der einen groben Bruch entdeckt, erhitzt ein Werkzeug von neuem bei der richtigen Härtetemperatur und dennoch ergibt sich ein Fehlstück. Die Schuld hieran trägt dann die ungünstige Form

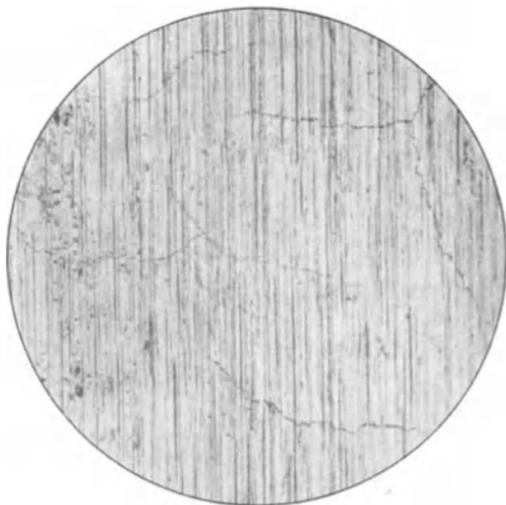


Abb. 116\*. Schleiffrisse in einem gehärteten Schnelldrehstahl.  
V = 12.

des Werkzeuges oder die unzuweckmäßige Art des Abschreckens. Die Frage bleibt jedoch bestehen, wie dem Bruche vorzubeugen ist. Eine andere Antwort als die, die schon auf den vorhergehenden Seiten gegeben worden ist, kann auf diese Frage in Form allgemeiner Regeln nicht erteilt werden. Der unerfahrene Härter kann, wie vorher auseinandergesetzt wurde, offenkundige Überhitzung bei Werkzeugen entdecken, welche er selbst nicht gehärtet hat. Man kann behaupten, daß mit wenigen Ausnahmen alle Arten des Reißens wesentlich durch Überhitzung begünstigt werden, weil Überhitzung die bleibende Ausdehnung, d. h. die zwischen der gehärteten Außenschicht und dem ungehärteten Kern vor-

handenen Spannungen vergrößert und zu gleicher Zeit die Festigkeit des Materials vermindert. Überhitzung vermehrt besonders die Leichtigkeit, mit welcher aus einer anscheinend unbedeutenden Ursache, wie z. B. bei tiefen Kerben an Werkzeugen, ein Riß sich entwickeln und ausdehnen kann.

Die Annahme ist aber nicht gerechtfertigt, daß ein großer Bruch unbedingt auf unrichtige Härtetemperaturen zurückzuführen ist. Er kann ganz einfach ein Kennzeichen dafür sein, daß während irgend einer vorhergegangenen Arbeit das Material bei einer zu hohen Temperatur erhitzt oder derselben zu lange ausgesetzt gewesen sein kann. Erfahrung in der Unterscheidung dieser verschiedenen Ursachen wird am besten durch sorgfältige



Abb. 117. Nach der Spitze zu überhitztes und regeneriertes Stahlstück mit der noch sichtbaren Wirkung des Überhitzens (links).

Beobachtung von Vergleichsproben gewonnen, die aus derselben Stahlstange geschnitten sind und bei verschiedenen Temperaturen verschieden lange erhitzt werden. Durch diese praktische Prüfung kann man Unterschiede im Material entdecken, das überhitzt und „regeneriert“ oder nicht überhitzt worden ist. Das in Abb. 117 dargestellte Stahlstück wurde nach der Spitze zulaufend erhitzt und darauf abgeschreckt. Es wurde dann von neuem erhitzt und wieder abgeschreckt, aber nicht in denselben Zustand versetzt, wie vor dem Überhitzen. Die Wirkung des Überhitzens ist noch an der linken Seite des Stahlstückes sichtbar.

Die scharfen Schneiden an Werkzeugen, wie an Meißeln, Hobeisen, Messern zum Walzendrehen usw. sind manchmal nur an den Ecken überhitzt und nicht in den dickeren gehärteten Teilen. Dies ist ein Kennzeichen dafür, daß das Werkzeug schnell in einem Ofen bei einer viel zu hohen Härtetemperatur von einem unerfahrenen oder sorglosen Härter erhitzt worden ist. In ihren

Wirkungen kann diese Behandlung schlimmer sein als vollständiges Überhitzen, da das auf ungleichmäßige Erhitzung zurückzuführende verschiedenartige Gefüge fast immer die Ursache dafür ist, daß die Ecken beim Gebrauch des Werkzeuges abbrechen. Ein Beispiel für einen weit überhitzten und dann abgeschreckten Drehstahl gibt Abb. 118. Der Stahl wurde versehentlich wie ein Schnelldrehstahl auf eine sehr hohe Temperatur gebracht und dann abgeschreckt. Die Folge der überhitzten Härtung war ein sofortiges Abbrechen der Spitze beim Gebrauch des Stahls infolge des sehr groben Bruchkorns, dem die geringe Widerstandsfähigkeit des Stahls zuzuschreiben ist. Die Bruchfläche eines überhitzten und richtig gehärteten Fräasers aus Kohlenstoffstahl sieht man in Abb. 119. Auch eine überhitzte Härtung bei Stahlringen führt leicht den Bruch derselben beim Härten herbei. In Abb. 120 kann man den verschiedenartigen Verlauf der Härterisse an zu hoch gehärteten Stahlringen (mit 1,13% Kohlenstoff) erkennen, die alle aus demselben Stahl gefertigt waren. Ein eigenartig verlaufender Riß konnte in einem gehärteten Uhrädchen beobachtet werden, der in Abb. 121 sichtbar ist.

Material, das kalt bearbeitet worden ist, sei es nun, daß es gehärtet war oder nicht, neigt sehr dazu, Risse zu bilden. Selbst

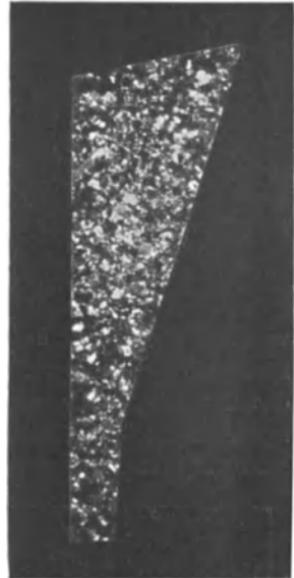


Abb. 118\*. Bruchfläche der Spitze eines überhitzten Drehmessers.  
V = 10.

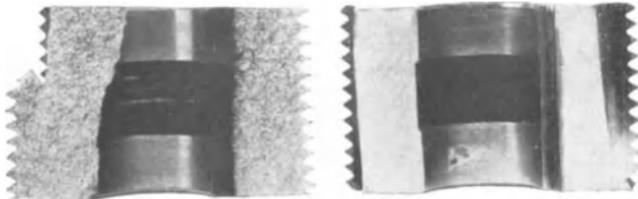


Abb. 119\*. Bruchfläche eines überhitzten und richtig gehärteten Fräasers aus Kohlenstoffstahl. Nat. Größe.

dehnbare Drahtseile reißen im gespannten Zustande zuweilen der Länge nach mit Leichtigkeit auf, wenn eine kleine Kerbe auf der Außenseite gemacht worden ist. Stücke aus hartem Stahl



Abb. 120\*. Beim Härten gerissene Stahlringe. Nat. Größe.

werden häufig in bestimmte Längen zerschnitten, um kleine Stempel, Bohrer usw. daraus zu fertigen. Wenn aber der Teil des Materials, der durch die beim Zerschneiden entstehenden Spannungen beeinflusst worden ist, nicht bei der späteren Bearbeitung entfernt wird, so wird die Härtung sicherlich einen

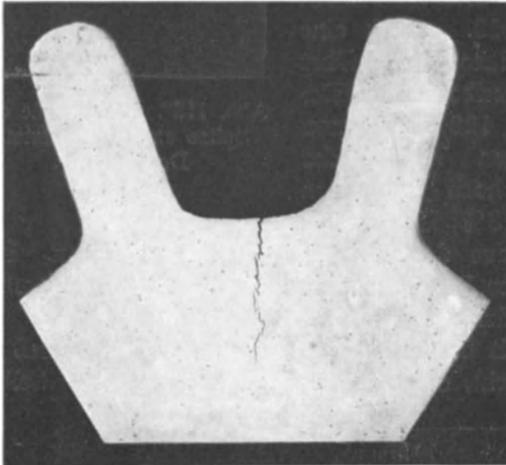


Abb. 121\*. Riß in einem gehärteten Uhrädchen.  
V = 50.

beträchtlichen Prozentsatz von Ausschußware herbeiführen. Es kommt auch gelegentlich vor, daß ein Werkzeug, das frei von scharfen Winkeln und Ecken ist, für die weitere Bearbeitung durch eine Marke mit dem Körner näher bezeichnet wird. Die sich hieraus ergebenden Vertiefungen bilden des öfteren den Ursprung zu Rissen, besonders bei schroff abgeschrecktem Stahl. Werden die Vertiefungen später entfernt, so ist es sehr schwer, die Ursache für den sich im Material hinziehenden Riß anzugeben.

## X. Einsatzhärtung.

Mit der Einsatzhärtung (Oberflächenhärtung) verfolgt man den Zweck, die Oberfläche eines Werkstücks aus weichem Eisen (eines Eisens mit wenig Kohlenstoff) an einzelnen Stellen oder überall zu kühlen, so daß sie beim Abschrecken glashart wird und das Werkstück zugleich einen zähen, biegsamen Kern behält<sup>1)</sup>.



Abb. 122\*. Zementstahl mit 1,30% Kohlenstoff. Perlit und Zementit.  
12 Tage in Buchenholzkohle bei 1100° C zementiert.  
V = 200.

Die älteste Anwendung des Prinzips der Einsatzhärtung findet bei der Herstellung von Zementstahl (Abb. 122) statt, der wegen seiner eigentümlichen auf der Oberfläche befindlichen Blasen auch Blasenstahl (blister steel) genannt wird. Er dient heute noch als Ausgangsmaterial für erstklassigen Tiegelgußstahl. Das

<sup>1)</sup> Vgl. Schäfer, Zeitschrift für praktischen Maschinenbau 1914, S. 159.

alte Verfahren der Zementation besteht darin, daß Stäbe aus schwedischem Schmiedeeisen (Schweiß Eisen) zwischen Lagen von Holzkohle unter Luftabschluß einer hohen Temperatur ( $1000^{\circ}\text{C}$  und darüber) für kürzere oder längere Zeit, meist mehrere Wochen,

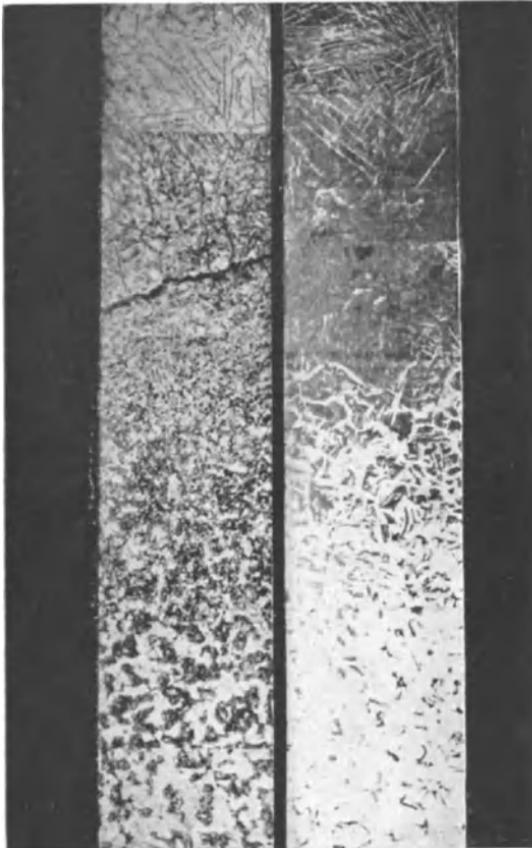


Abb. 123. Gefüge eines eingesetzten Stabes vor (rechts) und nach dem Abschrecken (links).

je nach dem Grade der verlangten Kohlung, ausgesetzt werden. Die neuere Einsatzhärtung ist der alten Zementation sehr ähnlich, nur werden bei Anwendung eines weichen Eisens schneller wirkende Kohlungsmittel als Holzkohle benutzt, auch wird die Dauer des Glühens auf wenige Stunden beschränkt. Bei der

Einsatzhärtung werden ganz bestimmte Temperaturen angewendet, die von der Art des jeweiligen Hartemittels und Einsatz-



Abb. 124. Nadelförmiger Zementit in der Außenschicht eines im Einsatz gehärteten weichen Stahls.  
V = 100.

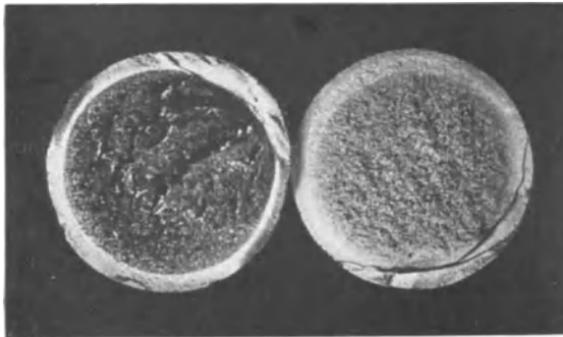


Abb. 125\*. Bruchflächen von eingesetztem und in Öl (rechts) und Wasser (links) abgeschrecktem weichen Stahl.  
V = 2.

materials abhängig sind und zur Erzielung einer guten Oberflächenhärtung genau innegehalten werden müssen.

Bei der früheren Betrachtung über die Umwandlungen im Stahl ist festgestellt worden, daß das durch den Kohlenstoffgehalt des Stahls bedingte perlitische Gefüge bei einer Temperatur um etwa  $720^{\circ}\text{C}$  in ein anderes Gefüge, nämlich Martensit, übergeht. Bei höheren Temperaturen fängt der Martensit an, sich in dem kohlenstofffreien Eisen, dem Ferrit, aufzulösen, d. h. das Karbid  $\text{Fe}_3\text{C}$  ist bei diesen höheren Temperaturen nicht mehr als solches vorhanden, sondern der vorhandene Kohlenstoff verteilt sich

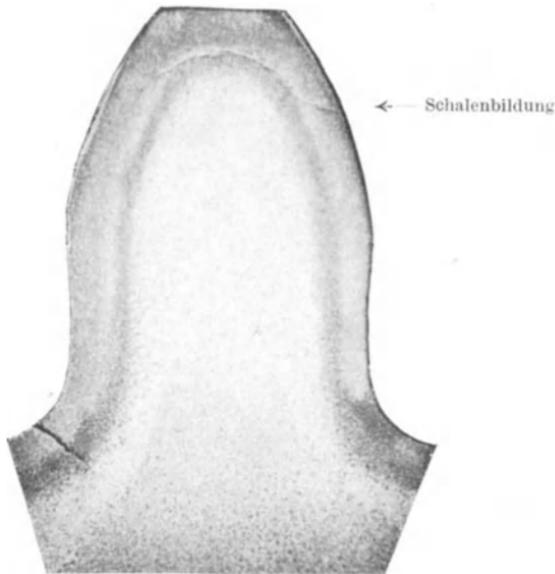


Abb. 126\*. Schalenbildung im Kopfe eines Zahnes von einem einsatzgehärteten Zahnrade.  $V = 3$ .

gleichmäßig auf die ganze Masse des Stahls. Der weiche Stahl hat also schon bei Temperaturen über  $720^{\circ}\text{C}$  das Bestreben, Kohlenstoff aufzulösen und aus diesem Grunde wird auch jede Art Kohlenstoff bei Temperaturen von  $720^{\circ}\text{C}$  oder darüber von dem heißen weichen Stahl durch Molekularwanderung aufgenommen, wenn er in innige Berührung mit dem Kohlenstoff kommt. Wenn die Temperatur wesentlich über  $720^{\circ}\text{C}$  erhöht wird, etwa bis  $850^{\circ}\text{C}$ , d. h. wenn der Perlit und Ferrit des weichen Stahls vollständig ineinander gelöst sind, dann geht die Aufnahme des Kohlenstoffs schneller vonstatten, als bei  $720^{\circ}\text{C}$ . Aber bei allen

Temperaturen, bei denen der Stahl noch nicht flüssig ist, wandert der von der Oberfläche des Stahls aufgenommene Kohlenstoff nach dem Kern zu. Erreicht der Betrag an Kohlenstoff in der äußersten Schicht 1%, so wird diese Schicht beim Abschrecken den höchsten Grad an Härte annehmen.

Wird die Temperatur des eingesetzten Materials noch weiter erhöht, etwa bis  $1000^{\circ}\text{C}$ , dann ist schon nach kurzer Zeit die gekohlte Außenschicht verhältnismäßig dick und bei weiterem Erhitzen wird von der Außenschicht mehr als 1% Kohlenstoff aufgenommen sein. Ein auf diese Weise beim Einsetzen überkohlter Stahl scheidet beim langsamen Abkühlen den über 1% betragenden Überschuß an Kohlenstoff als freien Zementit in Form eines Netzwerks oder als scharfkantige Täfelchen aus.

In Abb. 123 sind die aus einem eingesetzten Eisen hergestellten Querschnitt im ungehärteten und gehärteten Zustande nach geeigneter Ätzung wiedergegeben. In diesen Gefügebildern hat der Zementit im oberen Teile des Stückes die Form von sich kreuzenden Täfelchen angenommen. Die Abb. 124 zeigt diese Täfelchen von Zementit in stärkerer Vergrößerung<sup>1)</sup>.

Das Auftreten von freiem Zementit in eingesetzten Gegenständen ist mit wenigen Ausnahmen als ein Nachteil zu bezeichnen. Da der Zementit nur in den äußeren Schichten des betreffenden Stahlstückes vorkommt und diese nach dem Abschrecken glas hart werden, wobei der Zementit nicht nennenswert verändert wird, so wird die Außenschicht bei starker Beanspruchung, z. B. durch Hammerschläge, ausbrechen oder schon beim Härten Risse erhalten, die meist an der Oberfläche beginnen und sich in Richtung der Trennungsebene der zementithaltigen Außenzone und des weicheren Kerns fortsetzen. Ein derartiger beim Härten entstandener Riß eines Werkstückes mit zementithaltiger Außenschicht ist in Abb. 125 (links oben) erkennbar. Bei einem im Einsatz



Abb. 127. Grobkörniger Bruch an Kanten und Ecken eines eingesetzten weichen Stahls.

<sup>1)</sup> Vgl. Bannister und Lambert, Metallurgie 1907, S. 746.

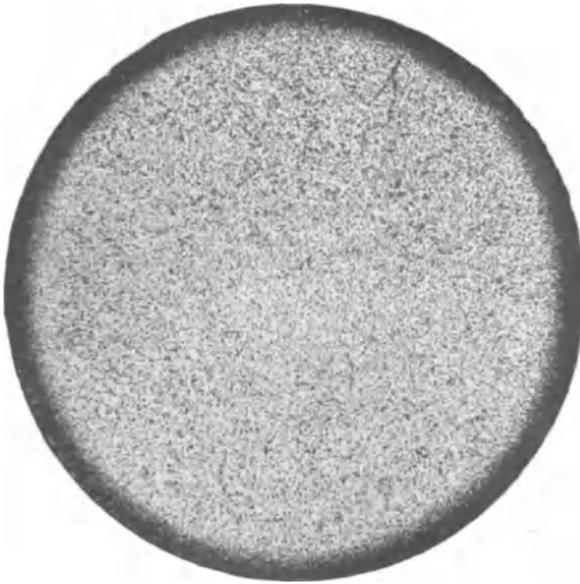


Abb. 128\*. Rundstab aus Flußeisen mit 0,14% Kohlenstoff während  
5 Stunden bei 900° C eingesetzt.  
V = 5.

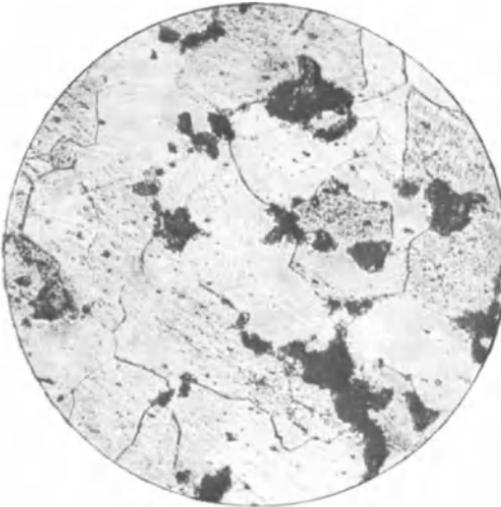


Abb. 129\*. Zu Abb. 128. Gefüge des Kerns. Grober Ferrit und Perlit.  
V = 200.

zu hoch gekohlten Rundstab mit zementithaltiger Außenschicht springt gewöhnlich beim Härten oder beim Durchbrechen des Stabes ein großer Teil der zementitführenden Außenschicht ab (Schalenbildung), wie dies aus Abb. 125 (rechts) und Abb. 126 ersichtlich ist. In vielen Fällen ist das Auftreten von freiem Zementit auf eine zu hohe Temperatur und zu lange Dauer bei Anwendung eines zu heftig wirkenden Zementiermittels während der Glühung zurückzuführen. Ist tatsächlich eine zu hohe Temperatur angewendet worden, dann zeigt das betreffende Werkstück einen groben Bruch, der ganz besonders an den Kanten und Ecken, also dort, wo freier Zementit vorhanden ist, wahrgenommen werden kann (Abb. 127). Das Vorkommen des grobkörnigen Bruches, der nicht etwa ein Kennzeichen für ein bestimmtes Einsatzhärtungsverfahren ist, sondern bei allen Stählen auftritt, die zu hoch erhitzt sind (S. 69), ist in Abb. 125 dargestellt. Gegenstände mit einem solchen Bruchaussehen sind nach der Härtung zum Abschalen und Absplittern geneigt. Der ganze Gegenstand ist brüchig geworden, weil sowohl der Kern als auch die gehärtete Außenschicht durch die Anwendung einer unnötig hohen Temperatur ein grobkörniges Gefüge erhalten hat.

Im allgemeinen darf die Kohlung im Einsatz nicht so weit getrieben werden, daß die gekohlte äußere Schicht über 1% Kohlenstoff enthält, so daß freier Zementit auftreten muß. Eine richtig gekohlte Oberfläche zeigt z. B. ein Rundstab, dessen Querschnitt in Abb. 128 zu sehen ist, im Gegensatz zu dem Stab in Abb. 130, der in der Randzone viel freien Zementit aufweist. Abb. 131 zeigt den geätzten Querschliff dieses Stabes vor dem Einsetzen. Der Stab (Abb. 128), dessen Kleingefüge nur aus Ferrit mit wenig Perlit besteht, wurde während fünf Stunden einer Glüh Temperatur von  $920^{\circ}\text{C}$  unterworfen. Das grobe Gefüge des Kerns ist in Abb. 129 dargestellt, während die Übergangszone von dem nichtgekohten Kern zur gekohlten Außenzone in Abb. 132 wiedergegeben ist. Man erkennt, daß zum Rande hin (links in Abb. 132), die Perlitflächen immer größer werden, bis sie den Ferrit völlig verdrängt haben. Der gekohlte Rand besteht nur aus Perlit, der Kohlenstoff, der anfänglich nur 0,14% betrug, hat sich also am Rande bis auf 1% angereichert.

Eine Überkohlung ist bei solchen Gegenständen dann von großem Nachteil, wenn sie, wie z. B. Zahnräder, an den schwachsten Stellen einer hohen Beanspruchung ausgesetzt sind. Ein Zahn-

rad aus Siemens-Martinstahl, dessen Kleingefüge Abb. 133 zeigt, wurde eingesetzt und dann abgeschreckt. Während des Betriebes splitterten die Zahnköpfe ab. Auf dem Querschnitt des Zahnes (Abb. 134) heben sich scharf mehrere Zonen ab (1—4), deren Kleingefüge die Abb. 135—138 wiedergeben. Vom groben, spröden Martensit der Außenzone durchläuft das Kleingefüge mehrere Stufen (1—4), bis schließlich in der Nähe der Nabe

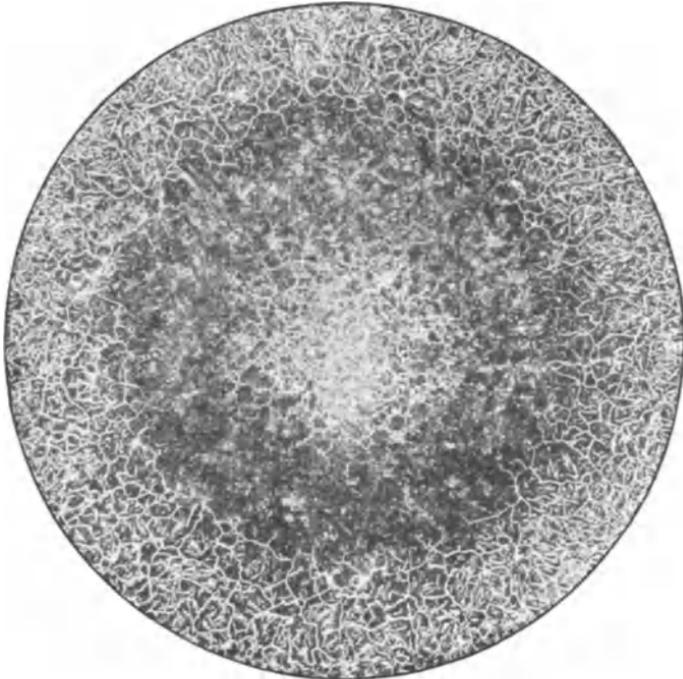


Abb. 130\*. Stab aus Flußeisen mit 0,05 % Kohlenstoff nach 15 stündigem Einsetzen in einem Gemisch von Holzkohle und Bariumkarbonat (60:40).  
V = 12.

wieder das normale Gefüge des Ausgangsmaterials, Ferrit und Perlit, erscheint (Abb. 138). Die Ursache des Absplitterns der Außenschicht ist nur einer fehlerhaften Behandlung des Zahnrades bei der Einsatzhärtung zuzuschreiben.

Es ist nicht möglich, eine bindende Regel über die zweckmäßigste Temperatur anzugeben, bei welcher die vorteilhaftesten Eigenschaften für im Einsatz zu härtende Werkstücke erzielt

werden. Das eine Mal genügt bei der Kohlung eine Temperatur von  $875^{\circ}\text{C}$  und das andere Mal muß eine Temperatur von  $1000^{\circ}\text{C}$  angewendet werden, die immer von der Art des Kohlungsmittels und dem Einsatzmaterial abhängt. Diese Tatsache gibt eine Erklärung für verschiedene Widersprüche, die in der einschlägigen Literatur über die Wirksamkeit der verschiedenen Kohlungsmittel bekannt geworden sind. Guillet<sup>1)</sup>, der Eisen mit 0,05 % Kohlen-

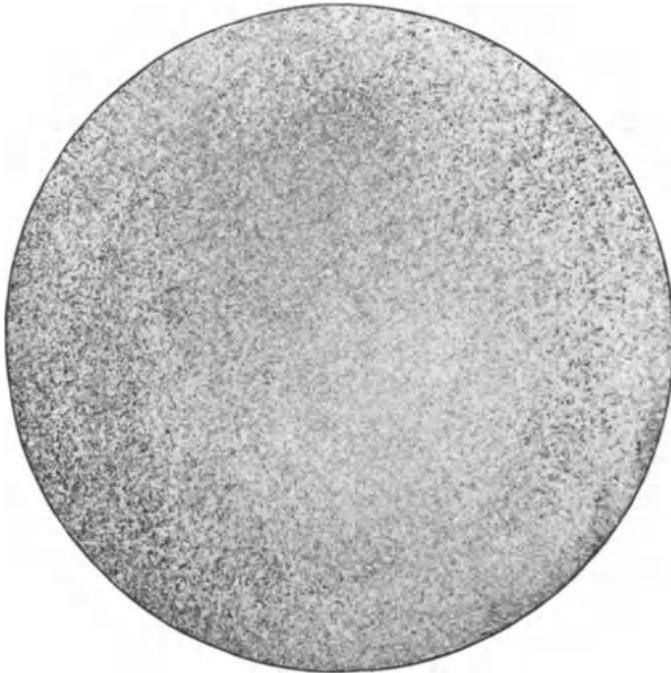


Abb. 131\*. Zu Abb. 130. Stab vor dem Einsetzen.  
V = 12.

stoff 8 Stunden lang bei  $1000^{\circ}\text{C}$  während des Einsetzens dem Einfluß von fünf verschiedenen Härtemitteln aussetzte, fand nach Beendigung des Erhitzens in der  $\frac{1}{4}$  mm starken Außenschicht der Versuchsstäbe einen Kohlenstoffgehalt, der je nach der Art des Härtemittels zwischen 0,94 und 1,32 % lag. Bei der darauf folgenden Schicht von ebenfalls  $\frac{1}{4}$  mm Stärke lag der Kohlen-

1) Vgl. Stahl und Eisen 1904, S. 1061.

stoffgehalt zwischen 0,75 und 1,19%. Die größte Menge Kohlenstoff wurde durch eine Mischung eingeführt, die aus 60 Teilen Holzkohle und 40 Teilen Bariumkarbonat bestand. Der Einfluß, welcher auf die Eindringungstiefe des Kohlenstoffs bei verschiedenen Zeiten und Temperaturen während des Zementierens ausgeübt wurde, ist in Abb. 139 nach den Ergebnissen von Guillet

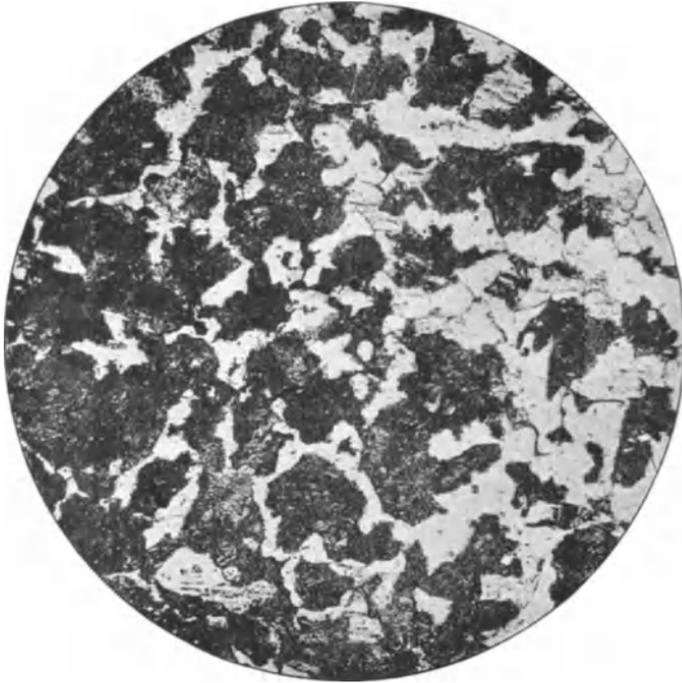


Abb. 132\*. Zu Abb. 128. Übergangszone von der gekohlten Außenschicht links zum Kern.  
V = 200.

angegeben worden. Die ausgezogene Linie stellt die entsprechende Eindringungstiefe (Kohlungstiefe) bei 1000° C für verschiedene Zeiten und die punktierte Linie die entsprechende Eindringungstiefe während 8 Stunden bei verschiedenen Temperaturen dar. Die Zusammensetzung der für die Einsatzhärtung benutzten Mischung ist nicht angegeben worden. Shaw Scott<sup>1)</sup>, welcher

<sup>1)</sup> Metallurgie 1907, S. 715.

die Zeitkurve für die Eindringungstiefe, die in Abb. 140 angegeben ist, dargestellt hat, arbeitete bei einer gleichbleibenden Temperatur von  $900^{\circ}\text{C}$  und bestimmte die Wirksamkeit eines Gemisches aus Holzkohle und Bariumkarbonat im Vergleich zu verkohltem Leder und Holzkohle.

Aus dem Diagramm ist ersichtlich, daß die schnellste Kohlung bei Anwendung einer Mischung von Bariumkarbonat und Holzkohle eintrat, während beim Gebrauche von Holzkohle allein die



Abb. 133\*. Siemens-Martinstahl für im Einsatz zu härtende Zahnräder.  
Ferrit und Perlit.  
 $V = 200$ .

Kohlung am langsamsten voranschreitet. Bei genügend langer Erhitzungsdauer ergaben die drei Härtemittel die gleichen Ergebnisse.

Ogleich ein schnelles Eindringen des Kohlenstoffs, das durch das allgemein empfohlene Gemisch von Buchen- oder Eichenholzkohle mit 40% Bariumkarbonat bewirkt wird, wünschenswert ist, so muß man sich doch vergegenwärtigen, daß bei einer genügend hohen und langen Glühdauer die Menge Kohlenstoff, die in die zu härtende Außenschicht eingeführt wird, mit der Zeit 0,9—1% erreicht, was für allgemeine Zwecke die ideale Menge ist, die

gefährlos nur dann überschritten werden kann, wenn der Gegenstand starker reibender Abnutzung ohne heftige Stöße ausgesetzt wird. Aus diesem Grunde ist das verbreitetste Härtemittel verkohltes Leder, für welches Temperaturen zwischen 900 und 950° C geeignet sind. Holzkohle oder Gemische aus Holzkohle und Knochenkohle können bei Temperaturen zwischen 950 und 1000° C angewendet werden, ohne daß zu befürchten ist, daß sich bei der gewöhnlichen Erhitzungsdauer eine übersättigte Oberfläche (also

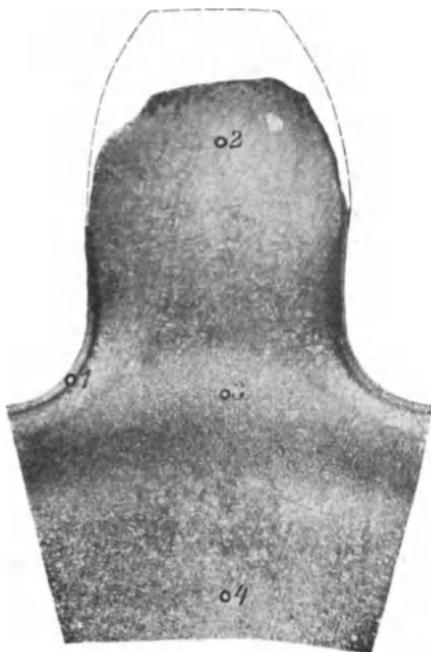


Abb. 134\*. Abgesplitteter Zahn eines im Einsatz gehärteten Zahnrades aus Siemens-Martinstahl.

V = 3.

eine solche mit mehr als 1 % Kohlenstoff) bildet. Ihre kohlende Wirkung ist jedoch verhältnismäßig gering, aber sie sind billig und sparsam im Gebrauch. Knochenkohle ist, wenn sie allein zur Anwendung kommt, viel wirksamer als Holzkohle, aber bei hohen Temperaturen (1000° C) kann sie Phosphor in die Außenschicht des Eisens einführen oder sie gibt Veranlassung zum Blasierwerden des Eisens. Daß in der Tat bei übermäßiger Erhitzung Phosphor aus der Knochenkohle in das eingesetzte Eisen eindringt, lehrt Abb. 141. Die dunkle Schicht, die mit hellen Zementitadern durchsetzt ist, hebt sich scharf von der weißen, den Phosphor in Form eines Eutektikums (strahlig) enthaltenden

Schicht ab, die wegen dieses hohen Phosphorgehaltes die bekannte das Eisen unbrauchbar machende Eigenschaft besitzt. Aus demselben Grunde dürfen auch keine Härtemittel benutzt werden, die Schwefel enthalten, weil letzterer noch viel leichter als Phosphor in das Eisen eindringt, die Aufnahme des Kohlenstoffs verhindert



Abb. 135\*. Zu Abb. 134. Kleingefüge der Zone 1.  
 $V = 200$ .

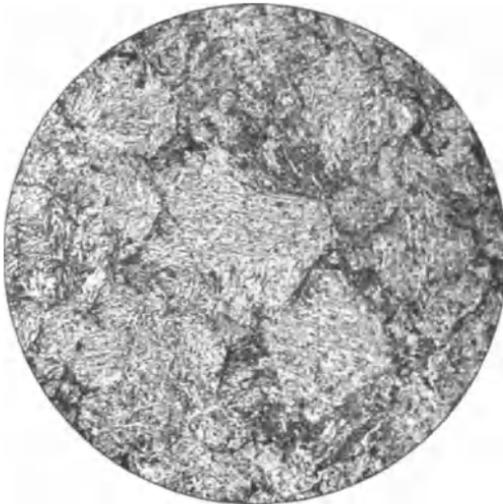


Abb. 136\*. Zu Abb. 134. Kleingefüge der Zone 2.  
 $V = 200$ .

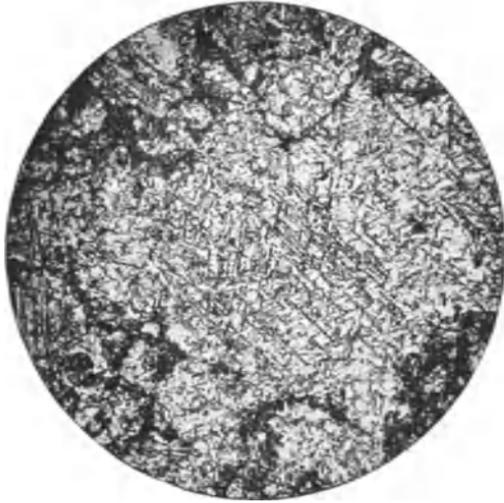


Abb. 137\*. Zu Abb. 134. Kleingefüge der Zone 3.  
 $V = 200$ .

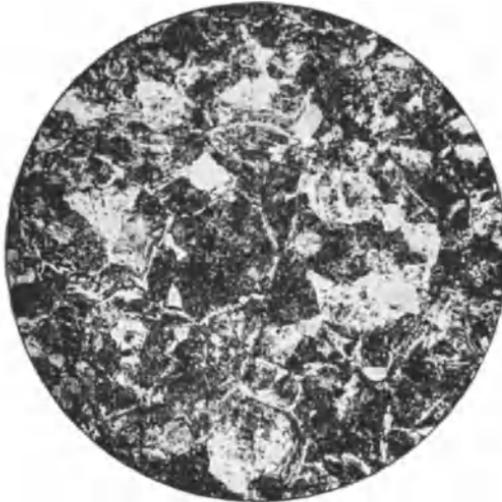


Abb. 138\*. Zu Abb. 134. Kleingefüge der Zone 4.  
 $V = 200$ .

und daher nach Grayson<sup>1)</sup> die „Weichhäutigkeit“ der Oberfläche verursacht. Überhaupt soll jedes Härtemittel in seiner Zusammensetzung genau bekannt sein, damit nicht solche Härtemittel zur Anwendung kommen, die ungenügende oder für die einzusetzenden Gegenstände gefährliche Bestandteile enthalten.

Natürlich kann die Oberfläche von weichem hochoerhitztem Eisen dadurch gekohlt werden, daß man reinen Kohlenstoff gegen dieselbe preßt, so daß durch eine direkte Reaktion zwischen dem Kohlenstoff und dem Eisen beide sich verbinden<sup>2)</sup>. Aber bei allen Arten von gewerblicher Einsatzhärtung ist die wirksamste

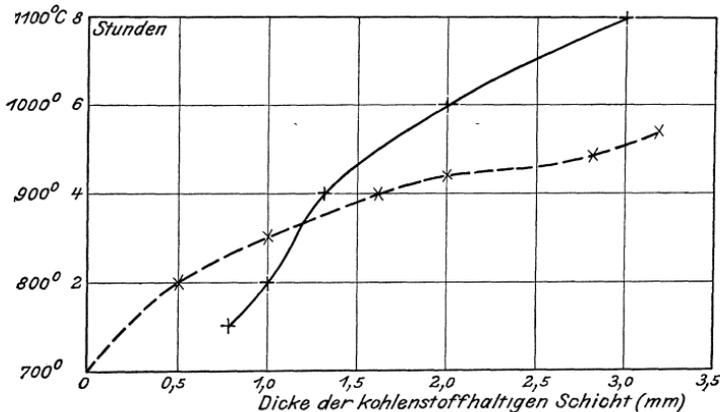


Abb. 139. Zeit- und Temperaturkurve der Aufnahme des Kohlenstoffs beim Einsatzhärten.

Kohlung auf die heißen Gase zurückzuführen, die entweder durch das verwendete Härtemittel in Freiheit gesetzt oder durch eine Reaktion zwischen der eingeschlossenen Luft und dem betreffenden Härtepulver gebildet werden. Die Behauptung, daß die Kohlung mehr durch die heißen kohlenstoffhaltigen Gase als durch festen Kohlenstoff bewirkt wird, läßt sich leicht beweisen. Wenn ein Stück eines Vierkantstabes aus weichem Eisen nahezu bis zu seiner oberen Kante in Sand verpackt wird, nachdem der Sand mit Asbest bedeckt ist und darauf der Kasten mit irgend einer festen, zur Einsatzhärtung geeigneten Mischung, etwa Holzkohle und Bariumkarbonat, gefüllt und erhitzt wird, so wird man finden,

1) Stahl und Eisen 1910, S. 1259.

2) Vgl. Weyl, Stahl und Eisen 1910, S. 1417.

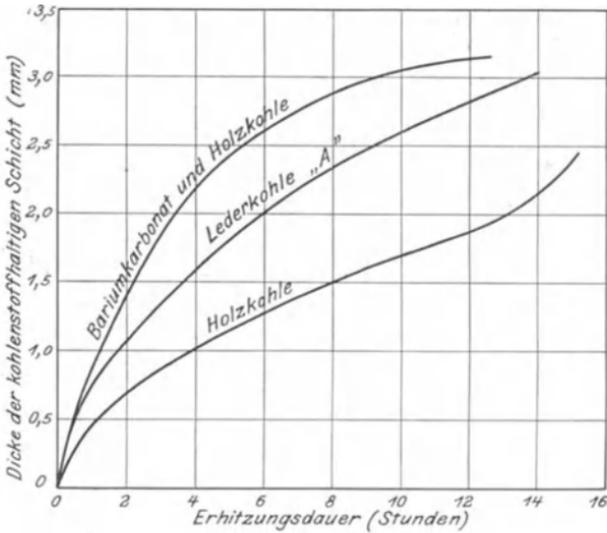


Abb. 140. Zeitkurve für die Aufnahme von Kohlenstoff beim Einsatzhärten.  
Nach Shaw Scott.



Abb. 141\*. Gefüge eines im Einsatz gehärteten Stahls nach der Aufnahme  
von Phosphor aus dem Härtemittel.  
V = 100.

daß die Kohlung nicht nur auf der oberen Seite des Stabes, sondern auf allen Seiten desselben stattgefunden hat, und zwar vornehmlich durch das Kohlenoxyd, das sich bei der hohen Temperatur durch die Einwirkung der Holzkohle auf das Bariumkarbonat bildet. Abb. 142 stellt einen solchen Stab dar, der nach der beschriebenen Behandlung poliert und geätzt wurde. Die Notwendigkeit für ein gasförmiges Medium beim Einsatzhärten scheint demnach über allen Zweifel erhaben zu sein, und möglicherweise ist die Abwesenheit von eingeschlossenen Gasen zum Teil der Grund dafür, daß die härteren und sich nicht so leicht zu Kohlenoxyd oxydierenden oder flüchtige Kohlenwasserstoffe abgebenden Formen des Kohlenstoffs, Anthrazit und Koks, fast unwirksame Mittel für die Einsatzhärtung sind.

Aus diesen Betrachtungen und den angegebenen Versuchsergebnissen folgt, daß Gase allein für die Zwecke der Einsatzhärtung verwendet werden können. Es herrschen indessen Meinungsverschiedenheiten in bezug auf den Wirkungswert der verschiedenen für Kohlungszwecke verwendeten Gase. In seinem Buche über Werkzeugstahl sagt Thallner (S. 116), daß Leuchtgas,

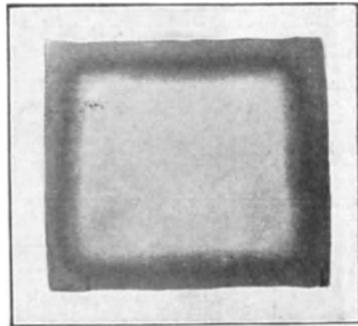


Abb. 142. Querschnitt eines Stabes, bei welchem das zum Einsatzhärten verwendete Kohlungsmittel nur die Oberseite des Stabes berührte.

welches über die Oberfläche von glühendem Eisen geleitet wird, eine energisch zementierende Wirkung auf dasselbe ausübt, während Olsen und Weissenbach<sup>1)</sup> feststellten, daß eine zementierende Wirkung auch nach 4 Stunden bei ungefähr 815° C nicht zu beobachten war, wenn das Gas nicht zuerst durch eine Lösung hindurchging, die freies Ammoniak enthielt. Es kommt häufig vor, daß sich derartige Widersprüche auf Grund vorgenommener Versuche ergeben. In Wirklichkeit sind diese Widersprüche nur scheinbar vorhanden, weil dieselben auf irgend eine Änderung in der praktischen Handhabung der Einsatzhärtung zurückzuführen sind.

<sup>1)</sup> American Machinist 1909, (32), S. 156. — Vgl. Stahl und Eisen 1910, S. 306.

Von anderen gasförmigen Stoffen, die sich zur Kohlung eignen, wie Azetylen, Benzin oder benzinartige Dämpfe, Petroleumdampf usw. wird angenommen, daß sie als Kohlungsmittel wirksamer sind, wenn sie durch eine Lösung geführt werden, die Ammoniak enthält, bevor sie in den Ofen gelangen. Indessen gehen auch hierüber die Ansichten auseinander.

Da Leuchtgas das bequemste Kohlungsmittel, besonders für kleine Anlagen ist, so soll über einige Versuche berichtet werden, die Bruch<sup>1)</sup> angestellt hat. Er fand, daß die zementierende Einwirkung von Leuchtgas sehr langsam bei ungefähr 700—900° C beginnt, um dann schneller bis zu 1050° C zuzunehmen und bei 1100° C plötzlich den Höchstwert zu erreichen. Die folgende Zahlentafel gibt den Prozentsatz an Kohlenstoff in jeder besonders untersuchten Schicht an, die von einem Rundstabe abgedreht wurde, nachdem derselbe bei den angegebenen Temperaturen 7 Stunden lang dem Gase ausgesetzt war. Der Kohlenstoffgehalt des Probestabes betrug 0,03 %.

Temperatur ° C	Kohlenstoffgehalt der				
	1. Schicht 11—10 mm	2. Schicht 10—9 mm	3. Schicht 9—8 mm	4. Schicht 8—7 mm	5. Schicht 7—6 mm
700	0,096	0,045	0,036	—	—
800	0,210	0,105	0,048	—	—
900	0,363	0,210	0,057	0,030	—
950	0,451	0,219	0,093	0,049	—
1000	0,579	0,321	0,241	0,152	0,091
1050	0,595	0,465	0,322	0,212	0,150
1100	1,522	1,487	1,284	1,147	0,988
1150	1,637	1,604	1,382	1,330	1,195

In neuerer Zeit hat Kurek<sup>2)</sup> lehrreiche Zementierungsversuche an Eisen angestellt, die in der Hauptsache folgendes ergaben: Bei einer Zementationsdauer von 4 Stunden eignet sich Kohlenoxyd zur Zementation nicht, denn zwischen 800 und 1000° C bewirkt dieses Gas eine zu schwache und zu wenig in die Tiefe

1) Metallurgie 1906, S. 123.

2) Stahl und Eisen 1912, S. 1780.

gehende Kohlung<sup>1)</sup>. Auch die Zumischung von einigen Prozenten Ammoniak zum Kohlenoxyd erhöht die Kohlenstoffaufnahme des Eisens nicht, während die Zumischung von Ammoniak zum Methan und Leuchtgas, die in bezug auf ihre Kohlungswirkung fast gleich sind und eine starke Randkohlung bewirken, die kohlende Wirkung dieser Gase vermindert. Auch unterhalb des kritischen Punktes (etwa 700° C) vermag das Eisen, wenn auch nur geringe Mengen von Kohlenstoff aufzunehmen.

Gasförmige Kohlenwasserstoffe, die ebenfalls als Kohlungsmittel in Betracht kommen, setzen leicht festen Kohlenstoff in der Zementierkiste ab, und zwar entweder als pulverige Masse oder als groben Graphit, und dieser kann bis zu einem gewissen Grade sich fest auf den eingesetzten Gegenständen niederschlagen und entweder die weitere Kohlung verzögern oder ganz aufheben.

Werkstücke, die oberflächlich gekohlt werden sollen, müssen eine reine, metallische Oberfläche besitzen. Eine dünne Schicht Öl auf dem Werkstück ist nicht schädlich, aber Rost und tonige Substanzen müssen vermieden werden. Wenn ein Teil des Werkstückes nicht gekohlt werden, also weich bleiben soll, so kann er mit Asbestpapier umwickelt und mit Ton oder Lehm überstrichen oder auf irgend eine andere Weise vor der Berührung mit dem Einsatzhärtepulver und den Gasen, die sich bilden, geschützt werden. Gewisse Bestandteile im Stahl erhöhen die Geschwindigkeit, mit welcher die Zementation vor sich geht, andere verzögern sie. In die erste Gruppe müssen wir nach Guillet<sup>2)</sup> Mangan, Chrom, Wolfram und Molybdän setzen, in die letztere Nickel, Titan, Silizium und Aluminium. Diese Einteilung dürfte sich jedoch etwas ändern, je nach der Art des für die Einsatzhärtung verwendeten Mittels. Gewöhnliches weiches Eisen, das für die Einsatzhärtung bestimmt ist, soll nach Guillet höchstens 0,10—0,15 % Kohlenstoff, 0,40 % Mangan, unter 0,30 % Silizium, 0,04 % Schwefel und 0,05 % Phosphor enthalten.

---

<sup>1)</sup> Hiermit stehen die Ergebnisse von Versuchen von Giolitti und Carnevali (Stahl und Eisen 1911, S. 287) in Widerspruch, aus denen hervorgeht, daß Kohlenoxyd zwar langsam, aber sehr gleichmäßig zementieren soll. Allerdings sind hierbei Druck und Schnelligkeit des Gasstromes von wesentlichem Einfluß.

<sup>2)</sup> Stahl und Eisen 1912, S. 59.

Das Werkstück, welches, wie angenommen werden soll, bis zur verlangten Tiefe gekohlt und nicht überkohlt ist, kann im Einsatzhärteofen abgekühlt oder auch sofort aus der Härtekiste herausgenommen werden. Da es in der Regel 6—8 Stunden einer Temperatur von ungefähr 900—1000° C ausgesetzt war, so ist sowohl die gekohlte Außenzone als auch der wenig kohlenstoffhaltige Kern zweifellos überhitzt und spröde. Es ist daher kein erstklassiges Erzeugnis zu erwarten, wenn das Werkstück sofort nach dem Herausnehmen aus dem Kasten abgeschreckt würde, jedoch ist es immer noch besser im Vergleich zu einem nicht eingesetzten Stahl, der ebenfalls aus hoher Temperatur abgeschreckt wurde.

Über die weitere Behandlung des oberflächlich gekohnten weichen Eisens ist folgendes zu sagen:

1. Läßt man nach Beendigung des Glühens das betreffende Werkstück, dessen äußere Schicht etwa 1% Kohlenstoff enthält, langsam erkalten, und erhitzt es dann wieder auf eine 720° C wenig überschreitende Temperatur, etwa auf 740—760° C, so wird durch Abschrecken aus dieser Temperatur die gekohlte Oberfläche glashart. Der nicht gekohlte weiche Kern, dessen kritische Temperatur wesentlich höher liegt als diejenige der gekohnten Außenzone (siehe S. 23, Anmerkung), zeigt ein grobkörniges Gefüge (Abb. 129), besitzt also eine ungünstige Beschaffenheit für das betreffende Werkstück, und daher ist durch die Härtung höchstens ein Stahl erzielt worden, der in seinen Eigenschaften einem schlecht geschmiedeten und gehärteten Werkzeugstahlstab nahekommt. Die Ursache hierfür ist die, daß bei der Kohlung eine Überhitzung des Werkstückes stattgefunden hat, und daß infolgedessen ihm die Eigenschaften zukommen, die ein überhitzter Werkzeugstahl besitzt, nämlich nach dem Härten rissig oder brüchig zu werden.
2. Erhitzt man dagegen den nach Beendigung des Glühens abgekühlten Gegenstand schnell auf 900° C oder, wenn das verwendete weiche Eisen weniger als 0,2% Kohlenstoff enthält, sogar bis auf 950° C, und verbleibt der Stahl während 15—20 Minuten bei dieser Temperatur, um dann an der Luft abzukühlen, so wird das grobe Gefüge des Kerns beseitigt, und durch Erhitzen auf die

Härtetemperatur und nachfolgendes Abschrecken kann ein brauchbares Werkstück erzielt werden.

3. Um den Kern des nach dem Einsetzen abgekühlten Werkstückes zu verbessern (vergüten), wird es, wie unter 2. erwähnt, bis auf 900 oder 950° C auf kurze Zeit erhitzt. Nach dem Abkühlen wird derselbe Gegenstand noch einmal auf etwa 800° C erhitzt und dann abgekühlt, wodurch auch die gekohlte Außenschicht ein feines Gefüge erhält. Wird das so vorbehandelte Werkstück dann bis zur richtigen Härtetemperatur (760° C) erhitzt, so erhält man durch Abschrecken aus dieser Temperatur ein Werkstück, das neben sehr harter und feiner Außenschicht einen feinkörnigen und verhältnismäßig zähen Kern besitzt.

Wenn die nach dem 3. Verfahren vorgenommene doppelte Erhitzung nicht unnötig verlängert wird, so wird sowohl die gekohlte Außenschicht als auch der Kern verfeinert und damit der Wert des Werkstückes sehr erhöht. Der größte Teil der unter den handelsüblichen Bedingungen eingesetzten Werkstücke wird auf diese Weise weiter behandelt. Allerdings in einigen Härtereien noch mit der Änderung, daß das Abkühlen nach der doppelten Erhitzung nicht an der Luft geschieht, sondern durch ein Abschrecken in Öl ersetzt wird. Hierdurch wird dem Werkstück sowohl in der harten äußeren Schicht als auch im Kern ein feines Gefüge verliehen, auch verhindert man durch das Abschrecken in Öl bis zu einem gewissen Grade das Verziehen des Werkstückes.

Die Beschaffenheit des weichen kohlenstoffärmeren und daher zäheren Kerns ist von großer Wichtigkeit bei Werkstücken, die kräftig beansprucht werden. Wenn der Kern in dem grobkristallinen Zustande verbleibt, den er bei der lang andauernden hohen Erhitzung während des Einsetzens angenommen hat, so kann jeder kleinste Fehler in der gekohlten Außenschicht Veranlassung zu einem Riß bilden, der dann gewöhnlich durch das ganze Stück sich mit Leichtigkeit erstrecken wird.

Um zu erkennen, ob der Kern den für kräftige Beanspruchung notwendigen Feinheitsgrad neben einer genügend hohen Zähigkeit besitzt, und um ferner festzustellen, bei welcher Beanspruchung ein Rissigwerden des Materials eintritt, kann man die sog. Kerbschlagprobe anwenden, die an Stäben ausgeführt wird,

die mit einer scharfen Kerbe versehen sind. Ein solcher Stab wird an der Kerbe in einen Schraubstock gespannt und mit einem Hammer zerbrochen. Sowohl die Kraft, die zum Abbrechen notwendig ist, als auch das Aussehen des Bruches geben schon ein Urteil über die Güte des Materials ab, das auch noch durch eine Biegeprobe geprüft werden kann. Wird nämlich ein eingesetzter Stahlstab nach dem Abschrecken aus der Härte-temperatur scharf gebogen, dann wird die Oberschicht an mehreren Stellen in der Krümmung in parallelen Ringen absplittern, während der Kern, wenn er zäh genug ist, die Biegung aushalten wird, ohne zu reißen. Wenn er dagegen grobkörnig ist, wird er kurz abbrechen. Aber da das Ergebnis dieser Prüfung sehr viel von der Schnelligkeit abhängt, mit welcher der Stab gebogen wird, so ist die Biegeprobe nicht so zuverlässig, wie die Kerbschlagprobe allein. Wenn Zahnräder, besonders solche aus Nickel- oder Chromnickelstahl, im Einsatz gehärtet worden sind, so müssen sie nach der weiteren thermischen Behandlung so beschaffen sein, daß die Zähne auch bei schweren Hammerschlägen nicht abspringen. Vielmehr müssen sie sich ganz umbiegen lassen, wobei die glasharte Oberschicht in vielen parallelen Rissen aufreißt<sup>1)</sup>.

Im Motorenbau werden heute besonders Nickelstähle wegen ihrer vorzüglichen Eigenschaften mit Vorliebe benutzt, die auch einer Einsatzhärtung mit Erfolg unterworfen werden können. In der Regel sind nur weiche Nickelstähle mit einem Kohlenstoffgehalt von 0,05—0,45 % und einem Nickelgehalt von 1—8 % für die Einsatzhärtung bestimmt, wenn neben hoher Bruchfestigkeit eine besonders hohe Zähigkeit verlangt wird. Aber die Zementation wird wegen des Nickelgehaltes etwas verzögert, auch ist die Härte der zementierten Außenschicht geringer im Vergleich zu einem im Einsatz gehärteten mittelharten Stahl.

Besonders hoch beanspruchte Zahnräder, Achsen, Wellen, Spindeln, Konusse usw., die aus diesem Material gefertigt sind und von denen Glashärte an der Oberfläche verlangt wird, werden mit Erfolg der Einsatzhärtung unterworfen. Sie brauchen dann nicht immer in Wasser abgeschreckt zu werden, um die größte Härte zu erlangen, weil bei einigen Nickelstählen schon durch den

---

<sup>1)</sup> Vgl. Mars, Chemische Technologie der Neuzeit, 1911, Band II, S. 867.

Nickelgehalt allein der perlitische Zustand in den martensitischen übergeführt wird, was bei gewöhnlichen Kohlenstoffstählen, wie früher besprochen wurde, nur durch Abschrecken zu erreichen ist. Besonders diejenigen Nickelstähle, deren Gefüge an der Grenze vom perlitischen zum martensitischen Zustande liegt, lassen sich durch Zementation ohne nachfolgendes Abschrecken in Wasser härten. Bei einem Stahlstab z. B. mit 0,15% Kohlenstoff und 7–8% Nickel, der vorher nur perlitisch war, ist durch die Steigerung des Kohlenstoffgehaltes bis 0,8 und mehr Prozent Kohlenstoff die Außenschicht durch die Kohlenstoffaufnahme von selbst so hart (martensitisch) geworden, wie ein Kohlenstoffstahl mit demselben Kohlenstoffgehalte, der nur durch Abschrecken in Wasser gehärtet werden kann. Der Kern dieses Nickelstahls ist perlitisch und daher zäh geblieben.

Bei Stählen mit geringen Nickelgehalten wird bei langer Glühung so wie bei gewöhnlichen Stählen in der Oberflächenschicht ein zementitähnliches Gefüge gebildet.

Auch die Chromnickelstähle eignen sich sehr gut für die Einsatzhärtung. Es kommen hier besonders Stähle in Betracht, die 0,15–0,40% Kohlenstoff, 2–6% Nickel und 0,5–1,5% Chrom enthalten. Durch Zusatz von Chrom wird der gewöhnliche Nickelstahl härter. Für Zahnräder und Getriebeteile, die neben Glashärte an der Oberfläche noch einen ziemlich zähen Kern besitzen müssen, kommen diese Stähle in Frage. Durch Abschrecken dieser Stähle in Öl wird die gewünschte Glashärte der Oberfläche neben einem zähen Kern nicht erzielt, und daher kann das Abschrecken in Öl die Einsatzhärtung in diesem Falle nicht ersetzen<sup>1)</sup>.

Da der Nickelgehalt der Nickelstähle der Vergrößerung des Kornes bei hohen Temperaturen und damit einem Sprödwerden entgegenwirkt, und da ferner auch die Haltepunkte der Nickelstähle durch den Nickelgehalt im Vergleich zu den Kohlenstoffstählen herabgedrückt werden, so wendet man nach Guillet<sup>2)</sup> bei einem eingesetzten Nickelstahl mit 2% Nickel folgende thermische Nachbehandlung an:

1. Erwärmen auf 1000° C und Abschrecken;
2. Erwärmen über 750° C und Abschrecken bei etwa 700° C.

---

1) Vgl. Metallurgie 1908, S. 217 und Stahl und Eisen 1909, S. 1168.

2) Stahl und Eisen 1912, S. 61.

Würde man diesen Stahl nur einmal bei  $700^{\circ}\text{C}$  abschrecken, so würde auf Kosten einer sehr harten Außenschicht die Festigkeit des Kerns gering sein. Bei einem einmaligen Abschrecken aus einer Temperatur von  $750^{\circ}\text{C}$  würde sich die Zähigkeit des Kerns erhöhen, dagegen die Härte der Außenschicht geringer sein. Bei einem Nickelstahl mit 6% Nickel erfolgt entsprechend

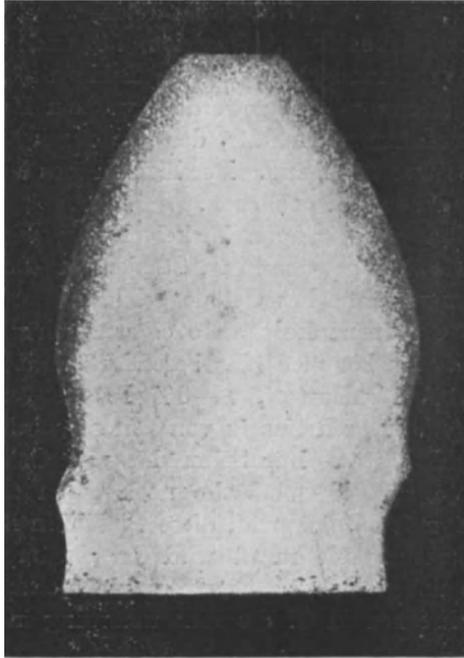


Abb. 143\*. Zahn eines im Einsatz gehärteten Automobilzahnrades mit 0,32% Kohlenstoff, 2% Chrom und 4,71% Nickel. Harte Randzone dunkel.  $V = 5$ .

seinen veränderten Haltepunkten, das erste Abschrecken bei  $850^{\circ}\text{C}$  und das zweite Abschrecken bei  $675^{\circ}\text{C}$ . Die Nachbehandlung von eingesetzten Chrom-Nickelstählen ist nach Guillet etwa die gleiche wie die der einfachen Nickelstähle.

Daß die Einsatzhärtung von Werkstücken aus Chromnickelstahl zuweilen die Vernichtung des Gegenstandes im Gefolge hat, konnte an einem Automobilzahnrad aus Chromnickelstahl festgestellt werden. Nach einer kräftigen Beanspruchung sprangen

die Zahne vom Zahnfuß ab. Auf dem geätzten Querschliff eines solchen Zahnes (Abb. 143) erkennt man deutlich die äußere gehärtete Schicht, in der bei starker Vergrößerung zementitähnliche Adern zu sehen sind (Abb. 144). Längs dieser harten Adern,

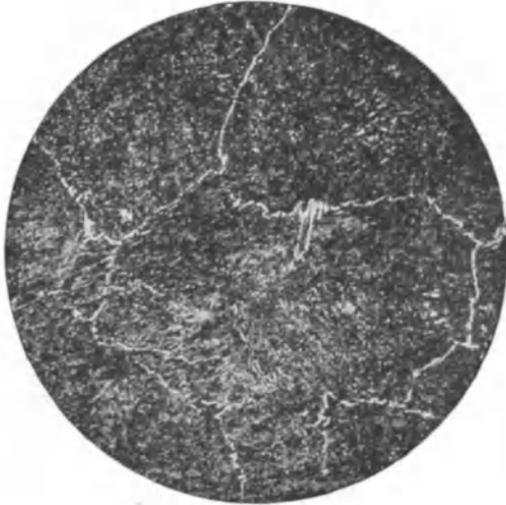


Abb. 144\*. Zu Abb. 143. Randzone mit zementitähnlichen Adern.  
V = 200.

die trotz einer energischen Abschreckung nicht verschwanden, ist der Bruch der Zähne eingetreten. Der helle Kern des Zahnes besteht aus feinem Martensit, ist daher hart und spröde, worauf unter anderem das Abbrechen der Zähne zurückzuführen ist. Der Zahn eines richtig im Einsatz gehärteten Zahnrades aus



Abb. 145\*. Einsatzgehärteter Chromnickelstahl. Aufgerissene Außenschicht.  
Die beiden Enden stehen in einem Winkel von etwa  $105^\circ$  zueinander.  
Nat. Größe.

Chromnickelstahl soll nach heftigen Stößen nicht abbrechen, sondern sich umbiegen lassen, wobei die äußere harte Schicht in vielen parallelen Rissen aufreißt (vgl. Abb. 145). Mitunter werden auch Vanadiumstähle im Einsatz gehärtet, die besonders für Stempel, Matrizen, Schnitte und dgl. benutzt werden. Ein Stempel aus Vanadiumstahl, der zur Herstellung von Stiftenköpfen diente,



Abb. 146\*. Im Einsatz gehärteter  
Vanadiumstahl. Bruchfläche.  
 $V = 1\frac{1}{2}$ .

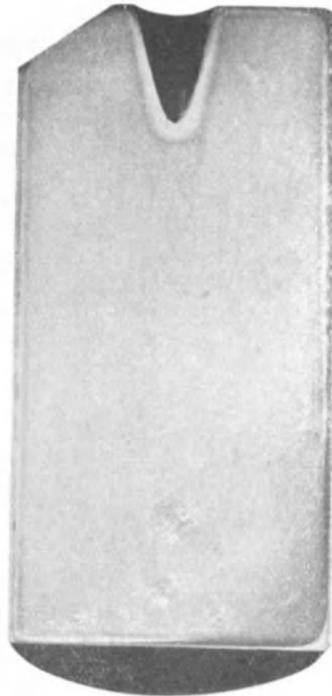


Abb. 147\*. Wie Abb. 146  
Geätzte Schliifffläche.  
 $V = 1\frac{1}{2}$ .

brach nach längerem Gebrauche in zwei Hälften. Abb. 146 gibt die Bruchfläche wieder, während Abb. 147 die polierte und geätzte Bruchfläche veranschaulicht. Die gehärtete Außenzone hebt sich scharf von dem Kern ab, der martensitisch ist (Abb. 149), während die gekohlte Außenschicht aus reinem Austenit und grobem Martensit besteht (Abb. 148). Der Gegenstand ist bei falschen Temperaturen zementiert und abgeschreckt worden, so

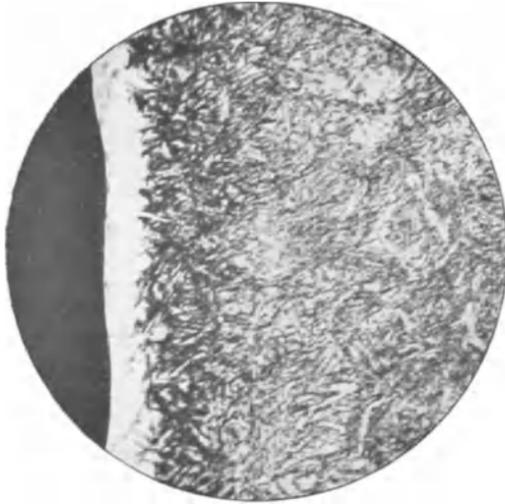


Abb. 148\*. Zu Abb. 146. Außenzone.  
V = 200.



Abb. 149\*. Zu Abb. 146. Kernzone.  
V = 200.

daß infolge des groben und spröden Martensits der Stempel auf die Dauer dem hohen und wechselnden Drucke nicht mehr standhalten konnte und zerbrechen mußte.

An dieser Stelle soll noch ein Kunstgriff besprochen werden, der zweckmäßig angewendet werden kann, wenn Werkzeugstähle gehärtet werden sollen, die durch irgend eine Ursache oberflächlich entkohlt wurden, wie auf S. 56 beschrieben ist (vgl. auch S. 182, „weiche Haut“ bei Schnelldrehstählen). Damit Werkzeuge, die aus solchen oberflächlich entkohlten Stäben geschnitten sind, eine vollkommen harte Außenseite durch das Axschrecken erhalten, ist es notwendig, sie mit irgend einem zementierenden Mittel (sog. Aufstreupulver) zu bestreuen, welches im Härteofen einwirkt. Solche Substanzen sind gewöhnlich Gemische aus folgenden Bestandteilen: Ruß, Hornmehl, Harz, gelbem Blutlaugensalz, gewöhnlichem Salz, Weinsäure, Holzteer und Kornmehl. Das Salz schmilzt auf der Oberfläche des heißen Stahls und gibt in geschmolzenem Zustande den Kohlenstoff leichter an den Stahl ab, eine Behandlungsweise, die man als „Einbrennen“ bezeichnet. Mittel verschiedener Zusammensetzung werden auch gebraucht, um die Bildung von Glühspan zu verhindern und eine Entkohlung während der Wärmebehandlung des Stahls auszuschließen. Kleinen Gegenständen kann eine dünne gekohlte Oberfläche dadurch erteilt werden, daß man sie bis zu der gewünschten Härtetemperatur in einem Bade von Zyankalium erhitzt. Auf diese Weise wird eine außerordentlich harte Oberfläche bei solchen Gegenständen erhalten, die zu dünn sind, um ihre äußere Form bei der üblichen Einsatzhärtung zu behalten. Aber die Dämpfe, die dem geschmolzenem Zyankalium entweichen, sind sehr giftig, und man muß Vorsichtsmaßregeln ergreifen, um gesundheitlichen Schädigungen der die Arbeit ausführenden Personen vorzubeugen. Aus diesem Grunde ist die regelmäßige Anwendung dieses Mittels nicht zu empfehlen.

Über einen geeigneten Einsatzhärteofen wird im letzten Abschnitt S. 203 berichtet werden.

## XI. Legierte Werkzeugstähle.

Die vorhergehenden Ausführungen beziehen sich hauptsächlich auf gewöhnliche Werkzeugstähle, d. h. auf Eisen-Kohlenstofflegierungen, die bis zu 1,7% Kohlenstoff neben geringen Mengen Silizium, Mangan, Schwefel und Phosphor enthalten. Der Mangangehalt kann zweckmäßig bis auf 0,6% bei solchem Material erhöht werden, das in Öl gehärtet wird, während der Siliziumgehalt bis zu 0,5% bei Stählen gesteigert werden kann, die einen hohen Glanz annehmen oder bei Wolframstählen, die sehr harte Materialien schneiden sollen.

Die Einflüsse, die auf die Eigenschaften der Stähle durch die Hinzufügung gewisser Metalle sowohl allein als auch in Verbindung miteinander ausgeübt werden, können außerordentlich mannigfaltig sein. Daher ist es nicht leicht, sich darüber zu äußern, welche Metalle für legierte Werkzeugstähle am besten zu verwenden sind und in welchen Mengen sie in denselben vorhanden sein müssen. Aus diesem Grunde sollen nur solche Stähle besprochen werden, die entweder Wolfram oder Chrom oder beide zusammen enthalten und die zurzeit für Schneidwerkzeuge allgemeine Anwendung gefunden haben.

Die Anwesenheit von sehr geringen Mengen Wolfram (bis  $\frac{1}{4}\%$ ) kann in Werkzeugstählen durch die Farbe des Funkens erkannt werden, der abspringt, wenn eine Ecke des Stahls gegen eine sich drehende Schmirgelscheibe gedrückt wird. Kein anderes Element bringt diese Erscheinung hervor und keines der besonderen Elemente, die dem Stahl zugefügt werden, verdeckt diesen ganz charakteristischen rötlichen Funken.

Der Bruch von Wolframstählen, selbst in ungehartetem Zustande, ist viel dichter und feinkörniger, als derjenige von Kohlenstoffstählen von derselben Härte und Vorbehandlung. Bei gehärteten Stählen ist der Bruch porzellanartig, wenn zwei und mehr Prozent Wolfram zugegen sind. Wolframstähle können ohne

großen Schaden für die aus ihnen gefertigten Werkzeuge beim Härten gering überhitzt werden, ohne den grobkristallinen Bruch zu ergeben, der bei überhitzten Kohlenstoffstählen auftritt. In dieser Hinsicht können sie mit jedem anderen Stahl durch gleichzeitige Anfertigung von Allings-Probestücken verglichen



Abb. 150\*. Bruchgefüge eines überhitzten Fräasers aus Wolframstahl.  
V = 2.

werden, wie auf S. 80 beschrieben worden ist. Von der Fähigkeit des Wolframstahls, selbst bei hohen Temperaturen keinen grobkristallinen Bruch zu zeigen, wird ausgiebigster Gebrauch bei den Schnelldrehstählen gemacht, die zwangsweise bei Temperaturen gehärtet werden müssen, die so hoch sind, daß ein Werkzeug aus gewöhnlichem Kohlenstoffstahl vollständig verdorben wird. Bei sehr starker Überhitzung jedoch ist auch

bei einfachen Wolframstählen das Bruchgefüge grob, wie aus Abb. 150 hervorgeht. Diese Abb. zeigt das Bruchgefüge eines Scheibenfräsers aus Wolframstahl, der versehentlich wie ein Schnell-drehstahl (Chromwolframstahl) bei sehr hoher Temperatur ( $1250^{\circ}\text{C}$ ) gehärtet wurde, so daß er genau wie ein überhitzter Kohlenstoffstahl beim Abschrecken in mehrere Teile zersprang (Abb. 151).

Bei Wolframgehalten bis zu 5% Wolfram ähnelt das Kleingefüge der Wolframstähle den Kohlenstoffstählen, nur ist das Korn feiner ausgebildet. Das Kleingefüge besteht aus Ferrit und



Abb. 151\*. Bruchteile eines überhitzten Fräsers aus Wolframstahl.  
Nat. Größe.

Perlit. Steigt der Wolframgehalt über 5%, so tritt ein anderer Gefügebestandteil von großer Härte auf, der von ähnlicher Beschaffenheit ist wie der Zementit bei einfachen Kohlenstoffstählen, nur ist dieser Gefügebestandteil ein wirksamerer Härtebildner als der Zementit. Wolframstähle mit etwa 1% Kohlenstoff und 3% Wolfram besitzen nach genügend hoher Erhitzung bereits selbsthärtende Eigenschaften. Infolge der niedriger gelegenen Umwandlungstemperaturen der Wolframstähle im Vergleich zu den Kohlenstoffstählen kann die Härtung, die in ihrer Wirkung stärker als bei Kohlenstoffstählen ist, auch bei niedrigeren Temperaturen vorgenommen werden, als wie es bei Kohlenstoff-

stählen üblich ist. Daher entsteht bei einem Stahl mit niedrigem Wolframgehalte (unter 5 %) bei der Härtung wieder Martensit. Anlassen und Ausglühen üben auf Wolframstähle mit geringen Wolframgehalten denselben Einfluß aus wie auf Kohlenstoffstähle, sie werden weicher.

Infolge des im Vergleich zu den Kohlenstoffstählen geringeren Wärmeleitungsvermögens müssen die Wolframstähle beim Schmieden sehr vorsichtig angewärmt werden, um der Entstehung von Spannungsrissen vorzubeugen. Das Schmieden erfolgt gewöhnlich bei derselben Temperatur wie bei Kohlenstoffstählen, doch ist es empfehlenswert, die Wolframstähle wegen ihrer höheren Festigkeit und Härte in rotwarmem Zustande bei etwas höherer Temperatur zu schmieden als die Kohlenstoffstähle. Stähle mit einem Gehalte bis 30 % Wolfram lassen sich noch ohne Gefahr schmieden.

Wenn Wolframstähle zu kalt geschmiedet worden sind, so haben sie die Neigung, lamellenartig zu zersplittern und zwar in rechten Winkeln zur Richtung der letzten Hammerschläge. Doch ist dies gewöhnlich nur bei flachen Stäben zu beobachten und es kann die Ursache dieser Erscheinung wohl Gußblasen im Block zugeschrieben werden, wenn nicht die Risse sich durch die ganze Länge des Stabes hindurchziehen. Wenn aber ein flacher Stab, der in der Mitte wegen zu kalter Bearbeitung lamellenartig eingerissen ist, in einen quadratischen Stab umgeschmiedet wird, dann verschwinden alle Zeichen der Lamellarstruktur, und der Stab kann gehärtet werden, ohne daß eine fehlerhafte Mitte zu bemerken ist.

Abgesehen von den Schnelldrehstählen ist das Wolfram ein nützlicher Bestandteil in solchen Schneidwerkzeugen, mit denen man sehr harte Materialien bearbeiten will, z. B. Hartgußwalzen. Wegen seiner harten und dauerhaften Schneidkante werden Werkzeuge aus Wolframstahl auch angewendet, um Schlichtarbeiten sowohl bei harten Stählen als auch bei weichen Metallen, z. B. Kupfer, vorzunehmen. Der Wolframstahl liefert auch ausgezeichnete Handstempel (Durchschläge), ist aber zu brüchig, um schweren Schlägen genügenden Widerstand zu leisten.

Wolfram begünstigt die intensive Härtung des Stahls und die Tiefe, bis zu welcher die durch Abschrecken hervorgebrachte Härte eindringt. Aber es ist in dieser Hinsicht sowohl dem Chrom als auch dem Mangan unterlegen.

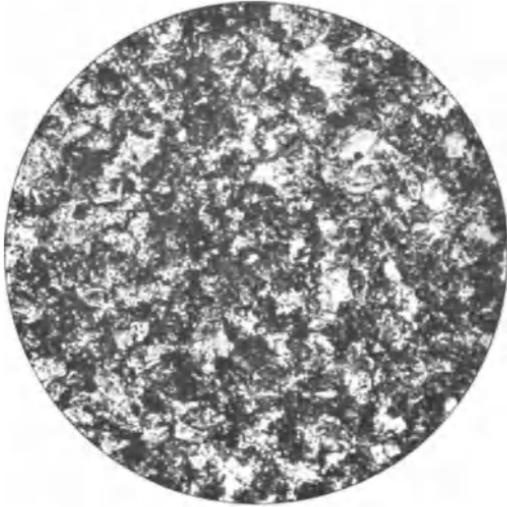


Abb. 152\*. Chromstahl mit 0,83% Kohlenstoff und 1,73% Chrom.  
V = 200.

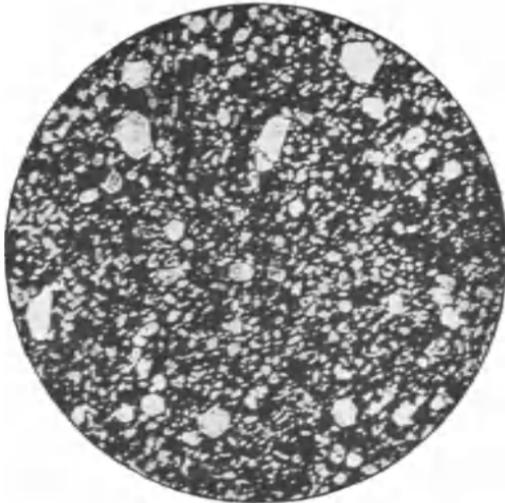


Abb. 153\*. Chromstahl mit ca. 2% Kohlenstoff und 12,34% Chrom.  
V = 200.

Über die Verwendbarkeit von Wolframstählen gibt die folgende Tabelle<sup>1)</sup> Auskunft.

Verwendungszweck	Kohlenstoff %	Wolfram %
Gewehrläufe . . . . .	0,60—0,70	1—3
Spiralbohrer . . . . .	1,00—1,20	0,60—0,70
Drehmesser . . . . .	1,00—1,20	3,00—3,50
Magnete . . . . .	0,60—0,65	4,00—6,00
Warmzieh- und Preßmatrizen . . . .	0,60—0,65	8,00—9,00

Chrom verursacht eine deutliche Härtesteigerung, zugleich aber auch eine Verminderung der Zähigkeit des Stahls. Bei sachgemäßer Härtung weisen Chromstähle eine feinkörnige Bruchfläche auf, die derjenigen der Wolframstähle ähnlich, aber nicht so glänzend ist. Bis zu etwa 3% Chrom ist das Kleingefüge der Chromstähle demjenigen der Kohlenstoffstähle ähnlich (Abb. 152).

Bei steigendem Chromgehalte und etwa 0,8% Kohlenstoff sind die Stähle schon im Urzustande sehr hart, während bei noch höheren Chromgehalten ein neuer körniger Gefügebestandteil von großer Härte auftritt, der in seinem Verhalten dem Zementit bei Kohlenstoffstählen ähnlich ist (Abb. 153). Das Auftreten dieses Gefügebestandteils kann des öfteren für Chromstähle bei ihrer Wärmebehandlung verhängnisvoll werden.

Auch bei Chromstählen ist das Wärmeleitungsvermögen im Vergleich zu Kohlenstoffstählen geringer, weshalb jede Wärmebehandlung eines Chromstahls noch vorsichtiger als wie bei Kohlenstoffstählen geschehen muß. Durch Überhitzung wird der Bruch leicht grobkörnig und der beanspruchte Stahl bricht kurz ab. Überhitzte Chromstähle sind daher nicht viel besser als überhitzte Kohlenstoffstähle.

Da die kritische Temperatur bei den Chromstählen höher liegt als bei Kohlenstoffstählen, so muß auch das Schmieden bei höheren Temperaturen vorgenommen werden als bei Kohlenstoffstählen. Auch das Ausglühen muß mindestens bei etwa 850° C erfolgen. Es ergibt sich hieraus, daß auch die Härtetemperatur für Werkzeuge aus Chromstählen höher liegt als die der Kohlenstoffstähle. Ein Kugellagerstahl z. B. mit etwa 1% Kohlenstoff

<sup>1)</sup> Mars, a. a. O., S. 309.

und 1,5% Chrom muß bei 830—860° C gehärtet werden, während für einen gewöhnlichen Kohlenstoffstahl mit 1% Kohlenstoff eine Härtetemperatur von etwa 760° C vollkommen ausreichend ist. Infolge der Anwesenheit von Chrom ist die gehärtete Außenschicht dicker im Vergleich zu gehärteten Kohlenstoffstählen und aus diesem Grunde werden Chromstähle häufig zur Herstellung von Stahlwalzen angewendet. Zugleich besitzen aber Chromstähle eine große Neigung zu Spannungsrissen, die besonders bei Werkzeugen mit scharfen Winkeln auftreten, auch scharfe Ecken platzen bei Chromstählen nach dem Harten leicht ab. Als Härteflüssigkeit für Chromstähle wird zweckmäßig nur Öl verwendet.

Infolge der großen Härte ist jede Kaltbearbeitung der Chromstähle schwierig, dagegen ist ein richtig ausgeglühter Chromstahl verhältnismäßig weich und kann in diesem Zustande gut bearbeitet werden. Chromstähle mit größerem Mangengehalte sind für Werkzeuge von Vorteil, die keinerlei Verziehen bei der Härtung erfahren dürfen.

In der folgenden Tabelle sind einige Anwendungsgebiete für Chromstähle angegeben<sup>1)</sup>.

Verwendungszweck	Kohlenstoff %	Chrom %
Schnitte, Sägeblätter, Stanzen . . .	0,9 —1	0,5
Fräser, Bohrer, Rasiermesser, Sägefeilen	1,40—1,50	0,30—0,50
Meißel . . . . .	0,30—0,40	0,50
Gewindebohrer, Spiralbohrer, Schnitte	0,80—0,90	0,50
Hand- und Preßluftmeißel. . . . .	0,30—0,50	1,00—1,50
Kugellager, Kugeln . . . . .	0,85—1,05	1,00—1,50
Geschosse . . . . .	0,70—0,80	1,00—2,20
Lochdorne, Stempel, Kaltwalzen . .	0,80—1,00	2,00—4,00
Zieheisen . . . . .	1,80—2,00	2,00—2,50

Wenn ein Stahl, der einige Prozent Chrom enthält, stufenweise auf eine Temperatur von 800° C erhitzt wird, und wenn er dann an der Luft abkühlen kann, so wird er allmählich härter und schließlich bei kleinen Querschnitten ganz hart. Dies bedeutet, daß das Material eine selbsthärtende Eigenschaft besitzt. Der alte Mushet-Stahl war bereits sein Selbsthärter, was allerdings nicht allein dem verhältnismäßig geringen Chromgehalte,

<sup>1)</sup> Mars, a. a. O., S. 269.

sondern hauptsächlich seinem Gehalte an Mangan zugeschrieben werden muß, den er immer neben Wolfram aufwies. Die Zusammensetzung des alten Mushet-Stahls ist ungefähr 1,5—2% Kohlenstoff, 6—8% Wolfram, 1—2% Mangan und 0,4% Chrom.

In ihrem Einfluß auf die Eigenschaften des Stahls ergänzen sich Chrom und Wolfram gegenseitig in vielen Beziehungen. Die Eigenschaft, die dem einen Bestandteil fehlt, ist bei dem anderen vorhanden und in Gemeinschaft sind sie die Träger für die ausgezeichneten Eigenschaften der neuzeitlichen Schnelldrehstähle (Schnellschnittstähle, Schnellschneidstähle, Schnellaufstähle, Schnellarbeitsstähle, Schnellbetriebsstähle, Schnellstähle, Rapidstähle).

Bei der Verarbeitung neuzeitlicher Schnelldrehstähle zu Werkzeugen dürfen viele Erfahrungen, die bei den Kohlenstoffstählen gesammelt sind, nicht ohne weiteres auf Schnelldrehstähle übertragen werden. Zunächst ist es nicht richtig, daß eine Vermehrung des Kohlenstoffgehaltes unbedingt einen Schnelldrehstahl, sei es nach dem Abschrecken in Luft, Talg, Öl oder Salz, härter macht, er kann sogar weicher werden. Auch ist es nicht richtig, daß der Stahl um so härter wird, je schneller er abgekühlt wird. Es ist jedoch ausnahmslos richtig, daß Schnelldrehstähle, sobald sie geschmiedet und an der Luft von Temperaturen um 900° C herum abgekühlt worden sind, hart sind und bei allen folgenden Arbeiten wie Stäbe aus gehärtetem Kohlenstoffstahl behandelt werden müssen.

Infolge ihrer gegenüber den Kohlenstoffstählen wesentlich geringeren Wärmeleitfähigkeit muß jede Wärmebehandlung, insbesondere die Erwärmung für das Schmieden, ebenfalls langsam begonnen werden, um ein Rissigwerden des Kerns zu vermeiden. Das langsame Erwärmen zur Erreichung der richtigen Schmiedetemperatur ist nicht so wichtig bei ausgeglühten Stäben, weil das weiche Material den durch zu schnelle Erwärmung hervorgerufenen inneren Spannungen nachgeben kann, ohne zu brechen. Die Nachgiebigkeit ist jedoch erheblich geringer als bei Kohlenstoffstählen, denn ein Schnelldrehstahl ändert, auch wenn er sehr heiß gemacht worden ist, seine Gestalt nicht schnell. Dagegen ist die Neigung zum Reißen oder Springen während des Schmiedens bei demselben Stahl geringer, wenn er möglichst heiß ist. Deshalb werden Schnelldrehstähle in der Praxis bei höheren Temperaturen geschmiedet, als für Kohlenstoffstähle verlangt wird, zumal auch die Umwandlungstemperatur bei der

Erhitzung höher liegt als bei Kohlenstoffstählen. Es ist notwendig, das Material durch und durch zu schmieden, nachdem es eine Zeitlang einer Temperatur von etwa 1000—1100° C ausgesetzt war, um das mitunter grobkörnige Gefüge des Rohstahls zu beseitigen. Zuweilen begegnet man auch der Ansicht, daß Schnelldrehstahl überhaupt nicht überhitzt werden kann, weil eine Überhitzung nicht beobachtet wird, wenn ein solcher Stahl Temperaturen ausgesetzt wird, bei der Kohlenstoffstähle unbedingt überhitzt werden. Aber diese Behauptung, daß Schnelldrehstähle nicht überhitzt werden können, ist falsch. Die kristallinen Körner nehmen an Größe bei sehr hohen Temperaturen in derselben Weise, wenn auch nicht mit derselben Leichtigkeit zu, wie bei Kohlenstoffstählen. Das Gefüge eines verbrannten Schnelldrehstahl ist ganz grob. Abb. 154 veranschaulicht das Bruchgefüge eines stark überhitzten noch unfertigen Werkzeuges (eine Hälfte einer Reibahle) aus Schnelldrehstahl, während Abb. 155 das Bruchgefüge desselben Stahls, der bei richtiger Temperatur gehärtet wurde, wiedergibt.

Wenn ein Schnelldrehstahl bei sehr hohen Temperaturen erhitzt und dann ungenügend durchgeschmiedet wurde, dann weist er einen sehr charakteristisch aussehenden Bruch auf. Diese Art des Bruches, die als „schuppig“ angesprochen wird, bildet einen großen Nachteil bei der Anfertigung von Spiralbohrern und Fräsern und es besteht dann bei diesen Werkzeugen die Neigung, zu reißen und zwar genau in derselben Weise, wie Werkzeuge aus Kohlenstoffstählen auch rissig werden, die überhitzt oder ungenügend durchgeschmiedet worden sind. Der schuppige Bruch kann nach dem Ausglühen nicht erkannt werden, aber er erscheint wieder, wenn man den ausgeglühten Stab von neuem erhitzt und nichts als nochmaliges Schmieden ist dann imstande, den schuppigen Bruch gänzlich zu beseitigen. Wenn geschmiedete Stäbe aus Schnelldrehstahl im Stahllager an den Enden geprüft werden, dann müssen diejenigen, die einen schuppigen Bruch aufweisen, zurückgewiesen werden und zwar aus denselben Gründen, wie Stäbe aus Kohlenstoffstahl verworfen werden sollen, die den grobkörnigen Bruch eines überhitzten Stahls zeigen.

Wenn die Bruchstellen von Schnelldrehstählen geprüft werden, so zeigen sie ein feineres Gefüge als Kohlenstoffstähle und unterscheiden sich auch von dem Bruchaussehen eines zähen Nickelstahls. In Abb. 156 ist links das sehr feinkörnige Bruch-

gefüge eines ausgeglühten Schnelldrehstahls dargestellt, während das mittlere Bild das Bruchgefüge eines guten Kohlenstoff-Werkzeugstahls wiedergibt. In der Abb. 156 erkennt man rechts den sehnigen Bruch eines hochprozentigen Nickelstahls.

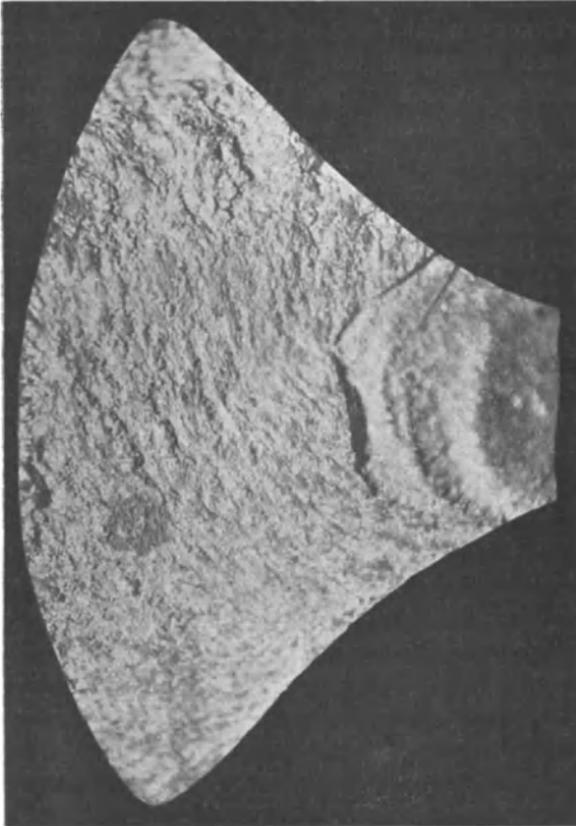


Abb. 154\*. Bruchgefüge eines überhitzt gehärteten Schnelldrehstahls.  
 $V = 3\frac{1}{2}$ .

Alle Werkzeuge aus Schnelldrehstahl sind nach dem Schmieden in luftgehärtetem Zustande denselben Bruchmöglichkeiten ausgesetzt wie in Wasser gehärtete Kohlenstoffstähle von derselben Gestalt. Beim Schmieden ergeben flache Stäbe geringeren Abfall als quadratische Stäbe, und quadratische Stäbe geringeren Aus-

schuß als runde Stäbe, und zwar aus denselben Gründen, die früher angeführt sind. Es ist daher ratsam, daß alle Werkzeuge nach dem Schmieden, wenigstens solche von rundem Querschnitt, langsam abgekühlt werden, was am besten in einem auf geeignete

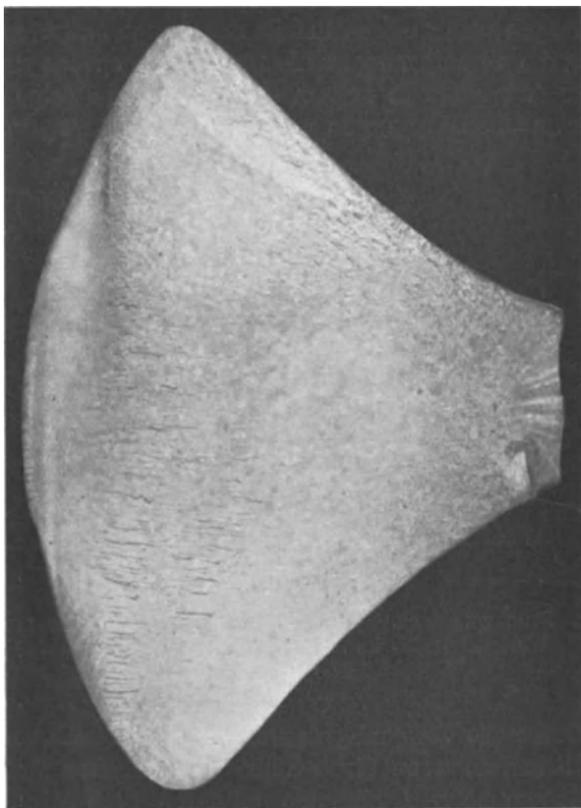


Abb. 155\*. Bruchgefüge eines richtig gehärteten Schnelldrehstahls  
 $V = 3\frac{1}{2}$ .

Temperaturen angeheizten Glühofen erreicht werden kann, damit die inneren und äußeren Schichten sich ungefähr mit derselben Schnelligkeit abkühlen können. Hierdurch wird bei den erkalteten Gegenständen die Bildung von Längsrissen, die nicht im heißen Stahl vorhanden und nicht unmittelbar auf kalte Bearbeitung zurückzuführen sind, außerordentlich vermindert, wenn nicht

gänzlich vermieden. Da ausgeglühte Stäbe viel gefahrloser zu behandeln sind als nicht ausgeglühte, so werden in der Praxis alle Gegenstände aus Schnelldrehstahl in ausgeglühtem Zustande geliefert. Das Material kann dann auf die gewünschten Längen zersägt werden, was weniger zu beanstanden ist, als es kalt abzubrechen oder heiß zu zerschneiden. Allerdings kann durch die beim Zersägen an der Schnittstelle der Stange auftretende starke Erhitzung die Veranlassung zu kleinen Rissen gegeben werden und durch das Abbrechen in kaltem Zustande wird infolge der hierdurch veranlaßten Zerrungen erst recht der Bildung von Rissen

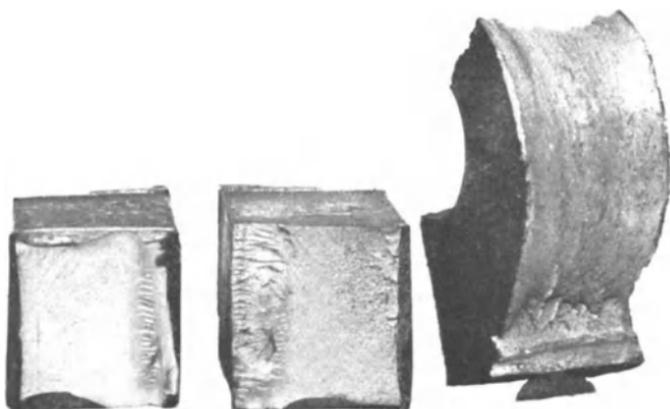


Abb. 156\*. Bruchgefüge eines ausgeglühten Schnelldrehstahls, gewöhnlichen Werkzeugstahls und hochprozentigen Nickelstahls.  
Nat. Größe.

an der Bruchstelle Vorschub geleistet. Es kann auch vorkommen, daß der Schmied, wenn dicke Stäbe zu bearbeiten sind, achtlos feuchtes Brennmaterial auf den erhitzten Stab wirft und auf diese Weise die Veranlassung zu einer Anzahl von winzigen Wasserhärtungsrissen gibt, die später zu ernstlichen Fehlern führen und die nicht immer auf ihre tatsächliche Ursache zurückverfolgt werden können.

Praktisch können alle Arten von in der Luft gehärteten Stählen durch Anlassen weicher werden, d. h. wenn sie unterhalb derjenigen Temperatur erhitzt werden, bei welcher sie beim Abschrecken hart werden. Wenn dagegen ein Stahl nur ausgeglüht werden soll, so muß er natürlich auf diejenige Temperatur gebracht

werden, bei welcher der Stahl schon durch Abschrecken gehärtet wird. Selbstverständlich muß aber dann dem Stahl beim Abkühlen so viel Zeit gelassen werden, daß das Bestreben der Lufthärtung unterdrückt wird, und selbst dann kann der weiche Zustand teilweise auf die Anlaßwirkung zurückgeführt werden, die zur Wirksamkeit kommt, nachdem die kritische Härtetemperatur überschritten ist.

Wenn ein Schnelldrehstahl auf  $900 - 950^{\circ} \text{C}$  erhitzt und in Öl abgeschreckt wird, dann ist er ganz hart. Er ist für die Feile fast ebenso hart, als wenn er von  $1200^{\circ} \text{C}$  abgeschreckt worden wäre. Aber er ist als Schneidwerkzeug nicht ebenso wirksam, wie ein hochgehärteter Schnelldrehstahl. Andererseits wird ein Werkzeug aus Schnelldrehstahl, welches aus Temperaturen von  $1200$  bis  $1300^{\circ} \text{C}$  abgeschreckt wurde, weichen Stahl mit großer Geschwindigkeit lange Zeit schneiden. Man ist so gezwungen, zwei Arten von Härte zu unterscheiden und zwar

1. diejenige Härte, die dadurch gekennzeichnet ist, daß die Oberfläche dem Eindringen der Feile Widerstand leistet und
2. diejenige Härte, die derjenigen Wärme (Anlaßhitze) Widerstand leistet, die infolge der großen Reibung zwischen Drehstahl und Werkstück beim Schneiden auftritt.

Diese letztere Art von Härte, die als Rotgluthärte bezeichnet worden ist, ist besonders charakteristisch für Schnelldrehstähle, und es hat sich herausgestellt, daß sie bis zu einem gewissen Grade unabhängig ist von dem Kohlenstoffgehalt des Stahls und von der Schnelligkeit, mit welcher das Werkzeug abgeschreckt wurde. Bei der Rotgluthärte, also bei Temperaturen bis  $600^{\circ} \text{C}$ , ist der Schnelldrehstahl noch schnittfähig, während gewöhnlicher Kohlenstoffstahl bereits versagt, wenn er sich beim Schneiden auf  $200 - 250^{\circ} \text{C}$  erhitzt hat. Der Vorzug des Schnelldrehstahls gegenüber dem gewöhnlichen Kohlenstoffstahl besteht also darin, daß man mit Schnelldrehstahl noch bei Rotglühhitze dieselbe Arbeit verrichten kann, die Kohlenstoffstahl nur bei viel niedrigeren Temperaturen leistet; dagegen ist es falsch, dem gehärteten Schnelldrehstahl eine größere Härte als einem gut gehärteten Kohlenstoffstahl zuzuschreiben.

Soweit es sich um einfachere Formen von Schneidwerkzeugen aus Schnelldrehstahl handelt, ist es gleichgültig, ob sie an der Luft, in Öl, Talg oder in Wasser abgeschreckt werden. Aber solche Werk-

zeuge, wie Spiralbohrer, Reibahlen, Fräser usw. können nicht so leicht durch und durch mit einer ausreichend gleichförmigen Schnelligkeit abgeschreckt werden, weil Schnelldrehstähle eine geringere Wärmeleitfähigkeit als Kohlenstoffstähle besitzen. Sie müssen daher langsamer als letztere abgekühlt werden und deshalb ist das Abschrecken an der Luft, in heißen Ölen oder Talg oder in geschmolzenem Blei oder Salz zweckmäßiger als in Wasser. In letzterem Falle ist jedoch die Gefahr des Rissigwerdens größer und daher wird auch die Lebensdauer, besonders von großen Werkzeugen mit stark wechselndem Querschnitt, wesentlich geringer sein.

Die folgende Tabelle<sup>1)</sup> gibt einige zweckmäßige Härtetemperaturen für verschiedene Werkzeuge aus Schnelldrehstählen an, wie sie zurzeit benutzt werden. Die gangbarsten Schnelldrehstahlsorten enthalten 0,50—0,80 % Kohlenstoff, 4—6 % Chrom, 18—24 % Wolfram, Silizium und Mangan unter 0,15 %.

Gewindebohrer, Reibahlen, Spiralbohrer in mittleren Stärken . . . . .	Härtetemperatur 900—950° C
Dieselben Werkzeuge in größeren Stärken .	950—1000° C
Fräser, Schnitte . . . . .	1000—1100° C
Stempel . . . . .	1100—1200° C
Drehmesser . . . . .	1250—1300° C

Diese Temperaturen sind jedoch keineswegs bindend für die Härtung aller Schnelldrehstähle. Es kommen hier noch Materialeigenschaften und sonstige Faktoren in Betracht und es empfiehlt sich bei der Herstellung größerer Mengen von Werkzeugen aus Schnelldrehstahl, wenn die Werkzeuge demselben Zwecke dienen sollen, zunächst Versuche über die geeignetste Härtetemperatur anzustellen, zumal außer den erwähnten Bestandteilen in den Schnelldrehstahlsorten verschiedener Stahlwerke noch andere kleine Beimengungen, wie Vanadin (0,1—1 %), Molybdän u. a., neuerdings sogar Kobalt, vorkommen, die in der Regel eine Änderung der Härtetemperaturen verlangen. Ein Vanadiningehalt erhöht die Fähigkeit der Chromwolframstähle, bei hohen Temperaturen ihre Härte zu behalten und es soll sich daher mit diesen Stählen eine höhere Schneidfähigkeit erzielen lassen als mit Schnelldrehstählen ohne Vanadin. Schnelldrehstähle mit mehr als 28 % legierter

<sup>1)</sup> Mars, a. a. O., S. 419.

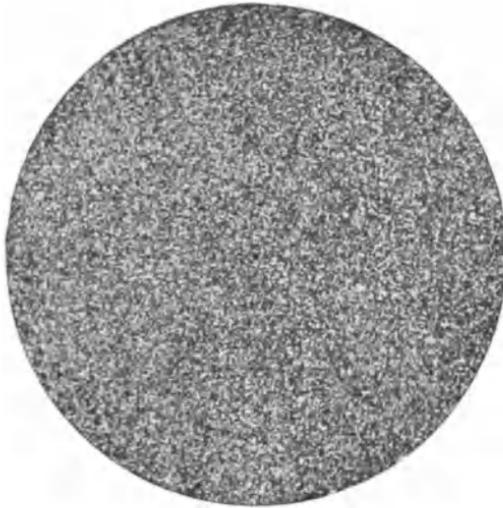


Abb. 157\*. Ausgeglühter englischer Schnelldrehstahl mit 0,59% Kohlenstoff, 18,30% Wolfram und 2,38% Chrom.  
V = 200.

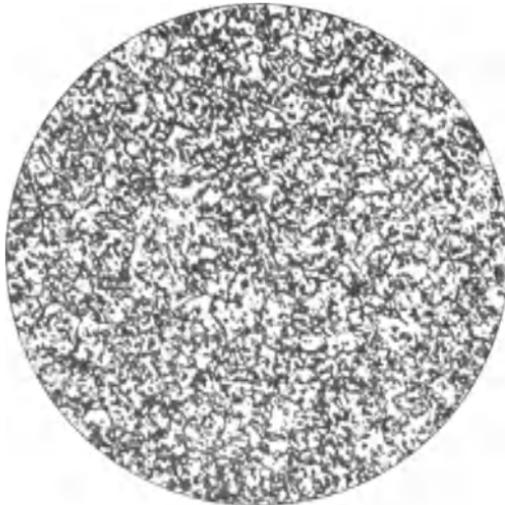


Abb. 158\*. Schnelldrehstahl bei 1150° C in Talg gehärtet.  
V = 450.

Bestandteile sind nur sehr schwer schmiedbar und hiermit verliert der Stahl seine für den Werkstättenbetrieb wertvollste Eigenschaft.

Auch diejenige Temperatur, bis zu welcher ein Schnelldrehstahl erhitzt werden kann, um den Höchstgrad von Rotgluthärte und Schneidfähigkeit zu erhalten, hängt ebenfalls bis zu einem gewissen Grade von der Zusammensetzung des Stahls ab. Die Veränderungen, die beim Erhitzen im Kleingefüge hervorgerufen

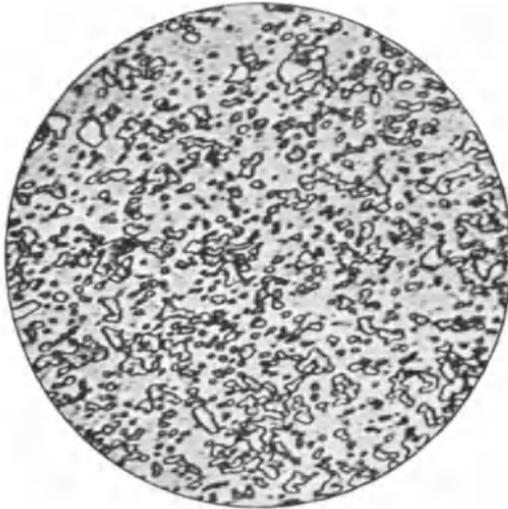


Abb. 159\*. Schnelldrehstahl bei 1050° C in Talg gehärtet.  
V = 600.

werden, sind ebenfalls für die Beurteilung eines Schnelldrehstahls von großer Wichtigkeit.

An einer Reihe von Kleingefügebildern (Abb. 157 — 178) lassen sich diese Veränderungen im Kleingefüge am besten verfolgen. Die Ätzung der zugehörigen Schiffe geschah zum Teil mit alkoholischer Pikrinsäure, zum Teil mit alkoholischer Salpetersäure<sup>1)</sup>.

Während ein ausgeglühter Schnelldrehstahl ein äußerst feines perlitisches Gefüge aufweist (Abb. 157), zeigt ein gehärteter Stahl ein ganz anderes Aussehen. Diese Veränderung im Gefüge geht schnell bei Temperaturen von ungefähr 1100 — 1300° C vor sich,

<sup>1)</sup> Vgl. Schäfer, Zeitschrift für Dampfkessel- und Maschinenbetrieb 1913, S. 481 und 491.



Abb. 160\*. Gefüge eines Schrappers aus Schnelldrehstahl.  
 $V = 200$ .



Abb. 161\*. Wie Abb. 160.  
 $V = 600$ .

und es wird angenommen, daß sie mit der Bildung eines Doppelkarbids von Chrom und Wolfram zusammenhängt, das in dem Eisen gelöst wird. In den Abb. 158 und 159 sind die hellen Karbidkörner leicht zu erkennen, welche in Schnelldrehstählen auftraten, die bei 1150 bzw. 1200° C gehärtet waren. Abb. 160 entstammt der Schneide eines Schrumpfers, der auch bei beschleunigter Dreharbeit vorzüglich „stand“. Abb. 161 stellt das Gefüge der Schneide in stärkerer Vergrößerung dar. Die Karbide erscheinen



Abb. 162\*. Gefüge eines Schnittes aus Schnelldrehstahl von kurzer Lebensdauer.  $V = 5$ .

des öfteren in schnürenförmiger Anordnung, wie aus den Abb. 163 und 164 hervorgeht, die von einem nicht rationell arbeitenden Zahnradfräser stammen, dessen Schneidfläche Abb. 163 wiedergibt. Ebenfalls von kurzer Lebensdauer war ein Schnitt aus Schnelldrehstahl, der das in Abb. 162 dargestellte Gefüge (Karbidschnüre) aufwies. Die Karbidkörner färben sich, wie der Zementit bei einfachen Kohlenstoffstählen, in einer heißen Lösung von Natriumpikrat dunkel (Abb. 165). Je höher die Temperatur steigt, um so mehr verschwinden bei einigen Schnelldrehstählen die Karbidkörner, und es erscheint ein polyederförmiges Gefüge (Abb. 166—168), das fein (Abb. 166) oder grob sein kann (Abb. 167). Es wurde bisher angenommen, daß die Polyederstruktur das Charakteristikum eines gut gehärteten Schnelldrehstahls ist. Dies ist jedoch nicht der Fall, denn der Stahl ist in diesem Zustande verhältnismäßig weich und

daher als erstklassiges Schneidwerkzeug unbrauchbar. Mit einer Stahlnadel läßt sich das polyederförmige Gefüge leicht ritzen, wie aus Abb. 168 hervorgeht, während die harten Karbidkörner unberührt bleiben. Die Polyederstruktur tritt zuerst an der Oberfläche des Stahls auf und bildet hier die sog. „weiche Haut“ (Abb. 169 und 170), während nach dem Innern zu die feinkörnige Karbidstruktur vorhanden ist (Abb. 170 und 171). Für Drehmesser ist diese weiche Haut ohne Belang, weil dieselbe nach kurzem Gebrauch des Werkzeuges verschwindet, für Werkzeuge jedoch, die auf ein genaues Maß abgedreht sind, z. B. Fräser, bedeutet die weiche Haut ein vollständiges Versagen

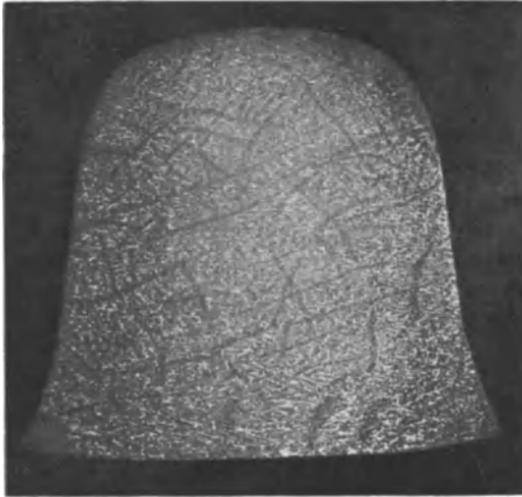


Abb. 163\*. Schneidfläche eines Zahnes von einem gehärteten Zahnradfräser aus Schnelldrehstahl.

V = 5



Abb. 164\*. Zu Abb. 163. Gefüge des Zahnes.

V = 200.

des Werkzeuges. Auch gibt die weiche Haut Veranlassung zu feinen Haarrissen (Abb. 172), die natürlich leicht in Richtung der Polyederbegrenzung verlaufen. In den Abb. 173 und 174 ist noch das Gefüge der Schneide von gehärteten Fräsern aus Schnelldrehstahl wiedergegeben, die nur eine geringe Leistungsfähigkeit besaßen. Das Gefüge dieser Fräser ist wesentlich verschieden von dem in Abb. 160 und 161 dargestellten gleichmäßigen Gefüge eines vorzüglich arbeitenden Schrappers.

Die Entstehung der weichen Haut könnte darauf zurückgeführt werden, daß bei der hohen Härtetemperatur ein Teil des

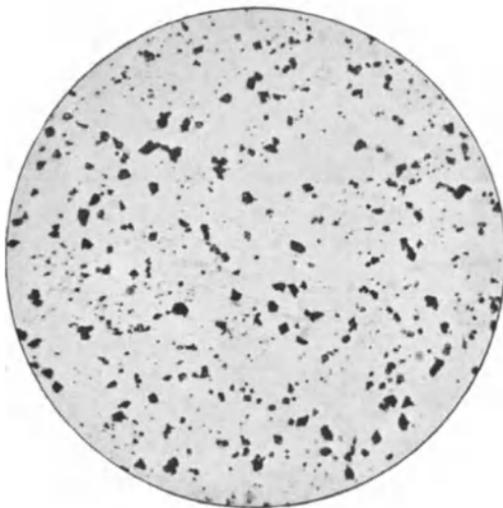


Abb. 165\*. Bei 1300° C gehärteter Schnelldrehstahl mit 0,92% Kohlenstoff, 16,15% Wolfram und 4,12% Chrom. Mit heißer Natriumpikratlösung geätzt.  
V = 200.

Kohlenstoffs an der Oberfläche des Werkzeuges verbrannt und dadurch der Stahl oberflächlich entkohlt wird. In der Tat scheint diese Ansicht durch den Versuch bewiesen zu sein. Denn ein bei 1250° C erhitzter Schnelldrehstahl mit ursprünglich 0,6% Kohlenstoff hatte nach dem Abschrecken an der Oberfläche nur noch 0,2% Kohlenstoff. Wenn hiernach eine schwache Entkohlung vor sich gegangen ist, so könnte dieser Fehler, die weiche Haut, durch nachträgliche Kohlung beseitigt werden. Praktische Versuche haben tatsächlich gezeigt, daß Werkzeuge,

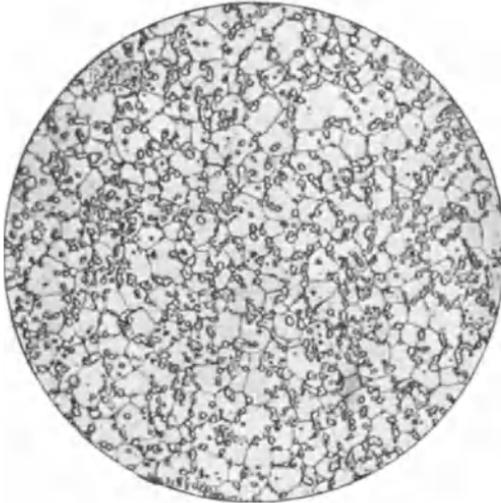


Abb. 166\*. Bei 1250° C gehärteter englischer Schnelldrehstahl mit 0,64% Kohlenstoff, 18,89% Wolfram, 2,45% Chrom und 0,11% Vanadium.  
V = 200.

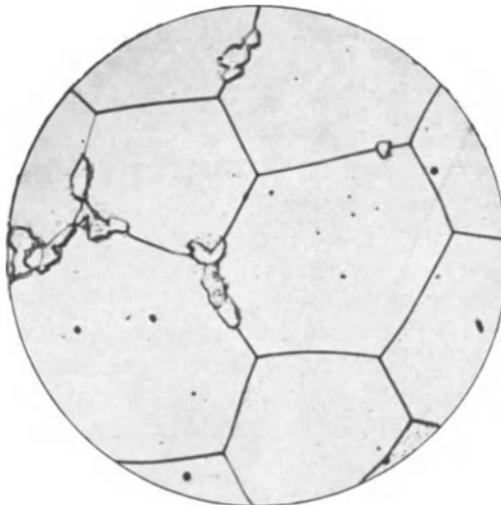


Abb. 167\*. Bei 1250° C gehärteter deutscher Elektro-Schnelldrehstahl mit 0,57% Kohlenstoff, 14,54% Wolfram und 4,55% Chrom.  
V = 200.

die eine weiche Haut besitzen, noch zu retten sind, wenn sie vor dem Abschrecken 'schnell in pulverisiertes Ferrozyankalium getaucht und dann wie gewöhnlich abgeschreckt werden. Hierdurch wird die Oberfläche, die leicht entkohlt war, durch den Kohlenstoffgehalt des Ferrozyankaliums von neuem gekohlt und ein ähnliches Gefüge, wie bei einem richtig gehärteten Werkzeug, wieder hervorgebracht (Abb. 175). Ein einwandfreies Urteil läßt sich zurzeit über die Frage nicht abgeben, ob das Auftreten der

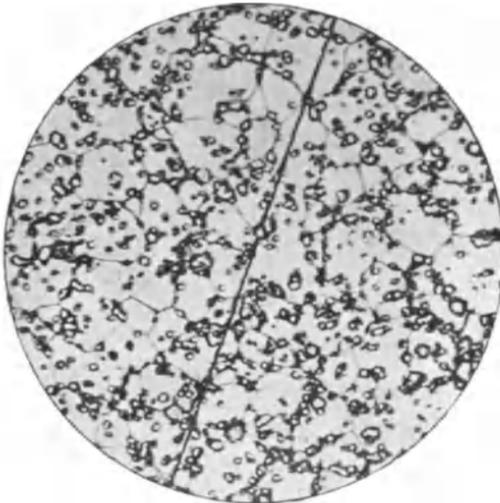


Abb. 168\*. Wie Abb. 166.  
 $\bar{V} = 400$ .

weichen Haut eine zwingende Begleiterscheinung der Polyederstruktur ist oder ob sie auf eine mit der Polyederstruktur zusammenhängende Entkohlung zurückgeführt werden muß. Steigt die Härtetemperatur weiter, so tritt eine Überhitzung des Stahls ein. Das Gefüge wird grob (Abb. 176), bis der Stahl schließlich bei noch höherer Temperatur verbrennt (Abb. 177) und seinem Schmelzpunkte nahe kommt. Daß auch das martensitische Gefüge in gehärteten Schnelldrehstählen vorkommt (Abb. 178), wurde bereits auf S. 33 erwähnt. Durch Schmieden wird das Auftreten der Polyederstruktur hinausgeschoben. Bei einem ungeschmiedeten und geschmiedeten englischen Schnelldrehstahl betrug z. B. der

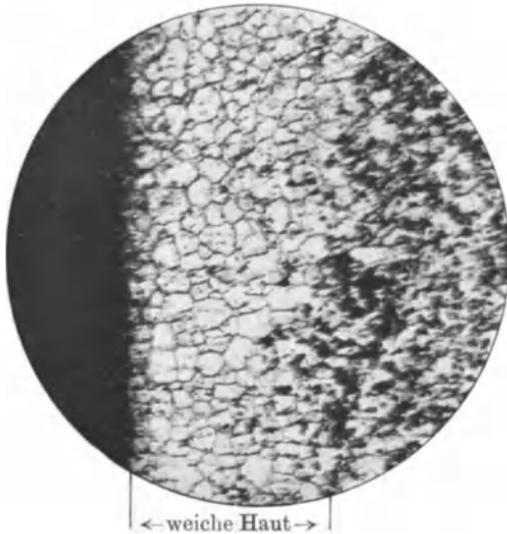


Abb. 169\*. Weiche Haut auf einem gehärteten Schnelldrehstahl mit 0,71% Kohlenstoff, 19,01% Wolfram, 5,15% Chrom und 0,37% Molybdän.  
V = 200.

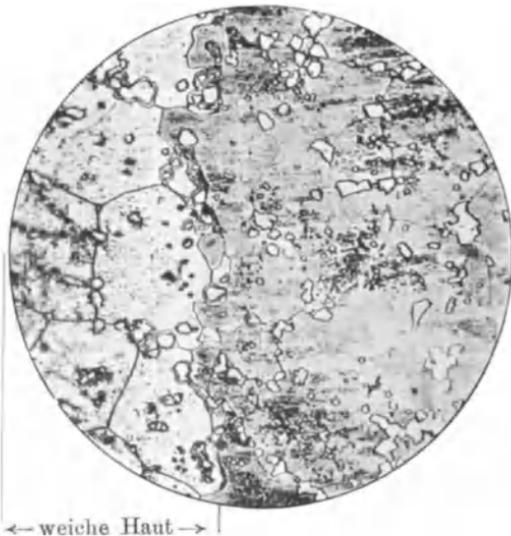


Abb. 170\*. Weiche Haut auf einem bei 1300° C gehärteten Schnelldrehstahl mit 0,92% Kohlenstoff, 16,15% Wolfram und 4,12% Chrom.  
V = 600.

Temperaturunterschied für das Auftreten der Polyederstruktur etwa  $50^{\circ}\text{C}$ .

Die Härtung der Schnelldrehstähle hat zweckmäßig so zu erfolgen, daß sie zunächst langsam auf  $600 - 650^{\circ}\text{C}$  erhitzt und dann so schnell als möglich auf die ihnen zukommende Härte-temperatur unter Vermeidung einer oxydierenden Atmosphäre (um einer Entkohlung möglichst vorzubeugen) gebracht werden. Die Härtungskurve in Abb. 179 gibt ein Bild von der Art der

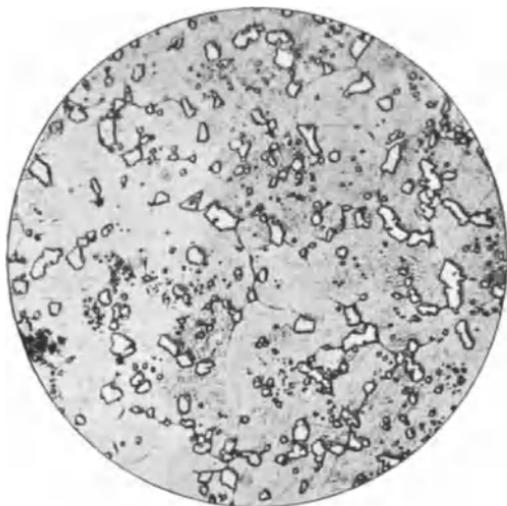


Abb. 171\*. Rechte Fortsetzung von Abb. 170.  
V = 600.

Härtung der Schnelldrehstähle. Zum Vergleich ist die Hartungskurve für gewöhnlichen Kohlenstoffstahl mit eingezeichnet worden.

Für die Erhitzung der Schnelldrehstähle zum Härten hat sich der elektrische Salzbadhärteofen am geeignetsten erwiesen.

Jeder Härter, der Gelegenheit gehabt hat, Werkzeuge aus Schnelldrehstahl, die aus demselben Material gefertigt sind, verschiedenartig zu härten, um sie dann peinlich auf der Drehbank zu prüfen, weiß, daß die überraschendsten Verschiedenheiten in der Leistungsfähigkeit des Stahls sich während des Härtens einschleichen. Die Zahl von verschiedenen Umständen, die das Verhalten von Schneidwerkzeugen beeinflussen, ist sehr groß.



Abb. 172\*. Haarrisse in einem gehärteten Schnelldrehstahl.  
V = 200.

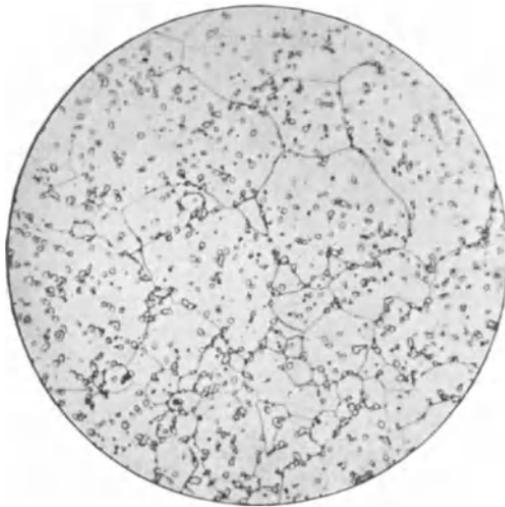


Abb. 173\*. Gefüge der Schneide eines gehärteten Fräasers aus Schnelldrehstahl.  
V = 400.

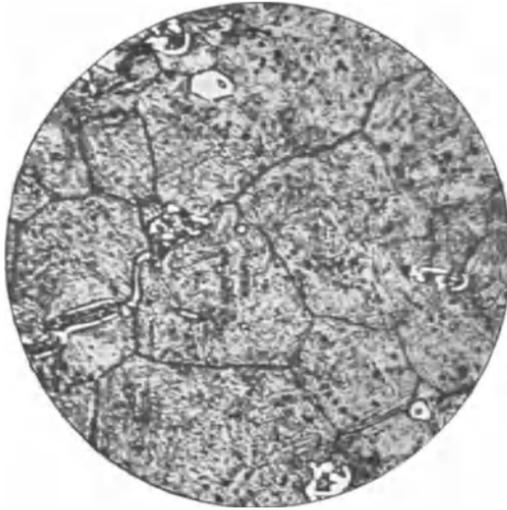


Abb. 174\*. Gefüge der Schneide eines gehärteten Fräasers aus Schnell-  
drehstahl.  
V = 400.

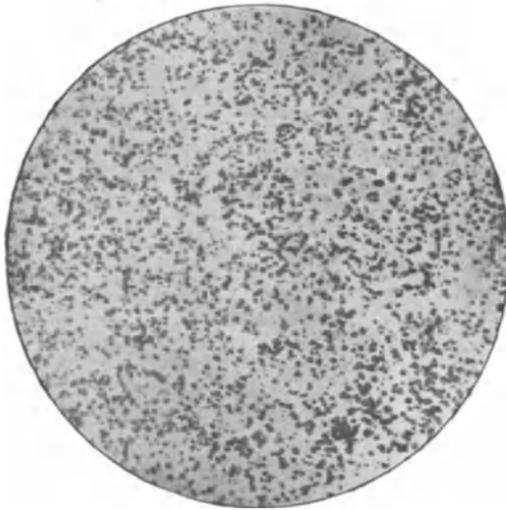


Abb. 175\*. Mit Ferrozyankalium oberflächlich gekohlter und gehärteter  
Schnelldrehstahl.  
V = 200.

Aus diesem Grunde dürfte eine den Praktiker befriedigende Lösung der Frage:

Welcher Stahl eignet sich am besten für ein Werkzeug von bestimmten Eigenschaften?

nicht einfach sein, wenn eine Lösung überhaupt möglich ist.

Wie schwierig die Beantwortung dieser anscheinend leicht zu beantwortenden Frage ist, wird am besten durch folgendes Beispiel erhärtet:

In einer öffentlichen Versuchsanstalt wurden Versuche an- gestellt, um den Wert der Stähle A, B und C zu ermitteln. Je ein Werkzeug, das aus den Stählen A, B und C angefertigt wurde, wurde geschmiedet und dann von demselben Härter in demselben mit Koks gefeuerten Ofen erhitzt und darauf gehärtet. Alle Werkzeuge erhielten dieselbe Schneidform und wurden auf derselben Drehbank an einem Kohlenstoffstahl mit 0,75 % Kohlenstoff geprüft, indem sie bei einer Schnittgeschwindigkeit von 25 Meter pro Minute arbeiteten. Die folgenden Zahlen geben die Minuten an, die die betreffenden Werkzeuge im Gebrauch waren, ehe sie versagten.

	A	B	C
Aus dem Versuchsstab angefertigt . . . . .	4,40	3,00	—
Nach dem Wiederanschleifen . . . . .	6,66	31,25	—
Am nächsten Tage wieder gehärtet . . . . .	14,60	13,20	30,81
Wieder angeschliffen . . . . .	10,30	15,95	11,17
Am dritten Tage wieder gehärtet . . . . .	8,90	25,10	3,00

Wollte man aus diesen Versuchen, wie es offenbar die Versuchsanstalt beabsichtigte, die Schlußfolgerung ziehen, daß der Stahl C eine geringere Lebensdauer besitzt als die Stähle A und B, so würde dies mindestens eine fahrlässige Schlußfolgerung sein. Denn aus diesen Versuchen kann man nur ableiten, daß bei der gewählten Härtetemperatur und der Art der Härtung der Stahl C sich ungünstiger verhält als die Stähle A und B. Würde man eine andere Härtetemperatur oder ein anderes Härteverfahren gewählt haben, dann wäre es sehr leicht möglich gewesen, daß der Stahl C sich wesentlich günstiger verhalten hätte als die beiden anderen Stähle. Dieser Versuch zeigt also, daß, ehe man einen Werkzeugstahl nicht nach allen Richtungen hin geprüft hat, es sich nicht entscheiden läßt, ob er für einen bestimmten Zweck, für ein bestimmtes Schneidwerkzeug sich besser oder weniger gut verhält, als ein anderer für diesen Zweck

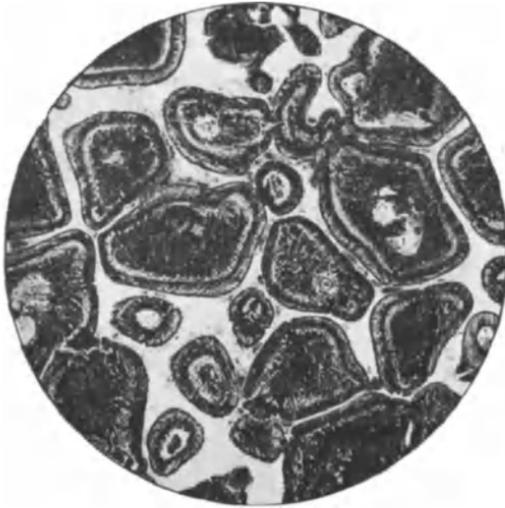


Abb. 176\*. Überhitzter englischer Schnelldrehstahl.  
V = 200.

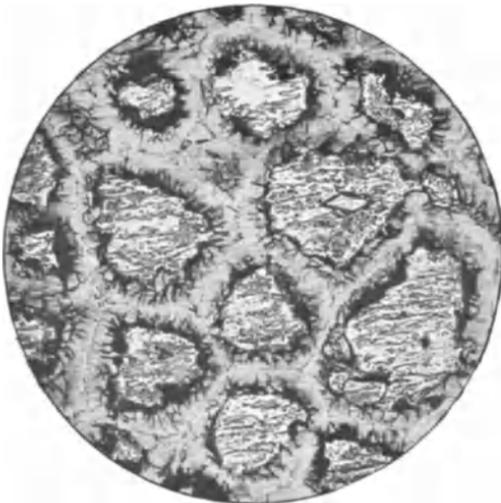


Abb. 177\*. Gefüge eines an der Schneide verschmorten (verbrannten)  
Schneidwerkzeuges aus Schnelldrehstahl.  
V = 200.

gebrauchter Stahl, dessen Verhalten bekannt ist. Dies ist auch die Ursache, daß eine so große Anzahl von Schnelldrehstählen in der Industrie gebraucht wird, obwohl anzunehmen ist, daß eine Reihe dieser Stähle weniger gute Eigenschaften besitzt als andere. Der Werkzeugfabrikant, der einen Schnelldrehstahl nach allen Richtungen geprüft hat und seine Eigenschaften genau kennt, weiß, welche Schwierigkeit und welche Arbeit ihm diese Kenntnis verursacht hat, und er sträubt sich daher, einen anderen Stahl, selbst wenn man ihn als besser empfohlen hat, anzuwenden.

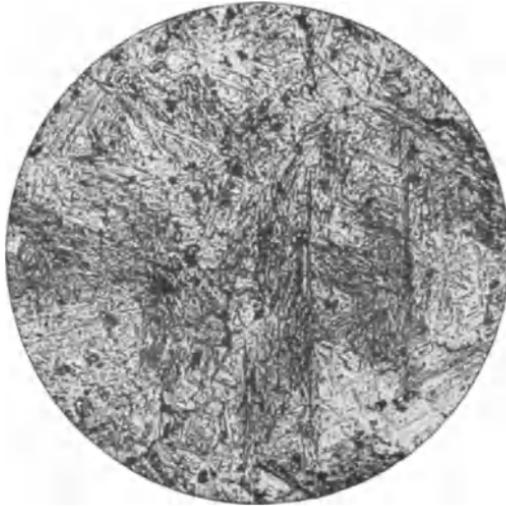


Abb. 178\*. Gehärteter Elektro-Schnelldrehstahl mit 0,57% Kohlenstoff, 14,54% Wolfram und 4,55% Chrom.  
V = 200.

Es ist allgemein bekannt, daß Chromwolframstähle bei sehr hohen Temperaturen leicht schuppenförmig werden, was wahrscheinlich die Folge einer leichten Entkohlung oder einer unrichtigen Behandlung während ihrer Verarbeitung ist (siehe S. 173). Sie nehmen auch sehr leicht Kohlenstoff bei hoher Temperatur auf, und folglich werden sie schlechter oder besser schneiden, obwohl die Höhe des Kohlenstoffgehaltes durchaus nicht wie bei reinen Kohlenstoffstählen einen Maßstab für die Verwendbarkeit des betreffenden Schnelldrehstahls abgibt. Ferner wird ein Stab aus Schnelldrehstahl, der kurze Zeit bis nahe an seinen Schmelz-

punkt erhitzt wurde, gewöhnlich nach dem Härten der Länge nach aufreißen, an der äußersten Spitze ein poröses oder gefurchtes Aussehen zeigen und dahinter ein Gefüge besitzen, das immer feinkörniger wird, je weiter es von der Spitze entfernt ist. Um die Porosität an der Spitze zu vermindern, werden Werkzeuge vor dem Abschrecken zuweilen gehämmert. Solange jedoch der gefurchte oder poröse Teil vorhanden ist, ist die Schneide des Werkzeuges gegenüber mechanischer Beanspruchung schwach, wie hart sie auch sonst ist. Abb. 177 stellt das Kleingefüge eines Stückes Schnelldrehstahl dar, welches zu lange bei

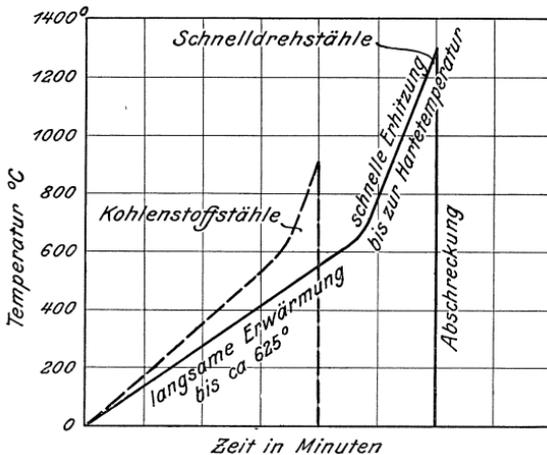


Abb. 179\*. Härtungskurven für Schnelldrehstahl und gewöhnlichen Kohlenstoff-Werkzeugstahl.

sehr hohen Temperaturen gehalten worden ist. Das Bruchkorn ist sehr grob und die einzelnen Körner haben bereits angefangen, sich voneinander zu trennen.

Um vergleichbare Ergebnisse bei Schnelldrehstählen zu erhalten, ist eine bestimmte Endtemperatur, eine gleichförmige Schnelligkeit des Erhitzens und ein neutrales Erhitzungsmittel notwendig. Die erste englische Patentbeschreibung, die sich auf neuzeitliche Werkzeuge aus Schnelldrehstahl bezieht (Nr. 10738 vom Jahre 1900), empfiehlt, dem Werkzeug im Härteofen eine Schutzdecke zu geben, die bei hoher Hitze schmilzt und den zu bearbeitenden Teil des Werkzeuges mit einem Überzug bedeckt, der Luft und andere Gase ausschließen soll, die die Oberfläche des Werkzeuges schädlich beeinflussen könnten. Eine

solche schützende Decke kann wie folgt hergestellt werden: Nachdem das Werkzeug langsam bis zur Rotglut erhitzt worden ist, streut man über dasselbe gepulvertes Boraxglas, das sofort schmilzt und anhaftet. Dann bedeckt man in derselben Weise die Spitze des Werkzeuges mit gepulvertem Glas und setzt es der gewünschten stärkeren Hitze aus. Das Flußmittel wird nach dem Abkühlen des Werkzeuges leicht entfernt und hinterläßt die Oberfläche des Stahls rein und unverändert. Eine Anzahl anderer Gemische ist gegen das Schuppigwerden der Schnelldrehstähle ebenfalls im Gebrauch.

Die Möglichkeit der Entstehung und die Ausbreitung von Rissen durch heftiges Schleifen (sog. Schleifrisse) ist auf S. 132 besprochen worden. Es ist unbedingt notwendig, das Auftreten von Schleifrisen bei Schnelldrehstählen zu verhindern, weil viele Mißerfolge in der Werkstatt auf Schleifrisse zurückgeführt werden können. Sehr feine, in geschliffenen Werkzeugen vorhandene Risse können manchmal nur durch ein geeignetes Ätzverfahren sichtbar gemacht werden, wenn nicht besser das Mikroskop zu Hilfe genommen wird. Wenn die Risse nicht auf diesem Wege aufgefunden werden, würde man keinen Verdacht für ihr Vorhandensein haben, bis die Werkzeuge im Gebrauch gewesen sind, wodurch die vorhandenen Risse größer werden und erst dann entdeckt werden können.

Gehärteter Stahl wird rissig durch örtliche Reibungswärme, weil dieselbe nicht schnell genug durch den Schaft abgeleitet wird und dadurch örtliche Ausdehnungen herbeiführt, denen sich anzupassen der übrige Teil des Materials zu unnachgiebig ist. Ebenso wie dickes Glas zerspringen muß, wenn man es an einer Stelle über die Spitze einer Kerzenflamme hält, also das Glas nur örtlich erwärmt. Wenn dagegen das Glas langsam und sorgfältig durch seine ganze Masse angewärmt wird, kann es schließlich, ohne Schaden zu nehmen, in die Flamme gehalten werden. Die Erfahrung hat gelehrt, daß die Gefahr des Zerspringens stark herabgesetzt, wenn nicht gänzlich vermieden wird, wenn Werkzeuge aus Schnelldrehstahl auf 200° C oder mehr vor dem Schleifen erhitzt werden.

Öfen und sonstige Einrichtungen zum Behandeln von Schnelldrehstählen werden im nächsten Abschnitt besprochen werden.

## XII. Härteanlagen.

Für jeden Werkstättenbetrieb, der seine Schneidwerkzeuge sowie alle im Einsatz zu härtenden Gegenstände selbst herstellt, ist die Härterei die wichtigste Abteilung; hängt doch von der Leistungsfähigkeit der Härterei die Schnittfähigkeit und damit die Lebensdauer des Werkzeuges, also die Wirtschaftlichkeit des ganzen Betriebes in erheblichem Maße ab. Daher erstrecken sich die Verbesserungen für eine neuzeitlich eingerichtete Härterei nicht nur auf die für die verschiedenen Härteprozesse notwendigen Öfen, sondern auch auf alle übrigen Einrichtungen, nicht zuletzt auf die zur Bestimmung einer zweckentsprechenden Temperatur notwendigen Temperaturmeßverfahren.

### 1. Öfen.

Ein möglichst vollkommener Ofen für Härtezwecke muß folgenden Bedingungen genügen<sup>1)</sup>:

1. Es müssen Temperaturen von 700—1350° C erzeugt werden können.
2. Die Erwärmung des Ofens muß möglichst schnell vonstatten gehen.
3. Die verlangten Temperaturen müssen mit einer Toleranz von 30° C eingestellt werden können.
4. Die Erwärmung muß unter Abschluß von Sauerstoff und Verbrennungsgasen vor sich gehen.
5. Eine Beschleunigung der Heizperiode muß erreicht werden können ohne Anwendung einer Temperatur, die höher als die für den Stahl passende ist.

Aus Gründen, die schon mitgeteilt worden sind, ist es wünschenswert, daß die Temperatur eines Ofens nicht höher sein sollte als die Temperatur, auf welche das Werkzeug zum

---

<sup>1)</sup> Straube, Stahl und Eisen 1909, S. 628.

Härten erhitzt zu werden braucht. Es erfordert sonst einen hohen Grad von Geschicklichkeit seitens des Härters, das Überhitzen besonders der Ecken und dünneren Teile an Werkzeugen zu vermeiden. Da auch der äußere Teil des Werkzeuges schneller heiß wird als der innere, so muß der Härter genügende Aufmerksamkeit anwenden und großen Scharfsinn besitzen, um zu bestimmen, wann die Härtetemperatur genügend tief in das Werkzeug eingedrungen ist.

Das gewöhnliche Schmiedefeuer ist die schlechteste Ofenform für Härtezwecke. Aber es ist für die meisten Gegenstände sehr bequem und billig, und deswegen bleibt es, obgleich es eine Anzahl Mängel besitzt, doch im Gebrauch. Ein Wärmemeßgerät, gleichgültig welcher Art, kann beim Schmiedefeuer nicht verwendet werden, mit Ausnahme von solchen die Temperatur annähernd feststellenden Mitteln, wie sie auf S. 235 erwähnt werden. Wie ungleichmäßig Werkzeuge im Schmiedefeuer erwärmt werden, läßt sich sehr leicht dadurch feststellen, daß man z. B. die Schneide eines Meißels mit einer im Schmiedefeuer schmelzbaren Masse bestreicht. Um nur ungefähr eine gleichmäßige Erhitzung zu erreichen, ist es notwendig, das Werkzeug beständig in Drehung zu erhalten und es häufig aus dem Feuer zu ziehen, damit die Hitze an den Ecken und Kanten, die sich in dem Feuer schneller erwärmt haben, infolge der schnelleren Abkühlung an der Luft wenigstens annähernd gleichmäßig geregelt werden kann. Das offene Feuer kann für vorübergehende Zwecke in verschiedener Weise so angeordnet und gehandhabt werden, daß man bis zu einem gewissen Grade die zweckmäßigsten Bedingungen trifft, die für ein empfindliches Werkzeug verlangt werden. Der einfachste Weg ist der, feuchte Schmiedekohlen auf dem Herde anzuhäufen und das Feuer durch ein Gebläse anzufachen, bis ein Hohlraum im Brennmaterial vorhanden ist. In dieser improvisierten Muffel von glühendem Brennmaterial kann das Erhitzen sehr kniffliger, empfindlicher oder formenreicher Gegenstände ziemlich gleichmäßig vorgenommen werden. Kleine Koksstückchen müssen gelegentlich in das Feuer geworfen und mit einigen Windstößen zu hellem Aufflammen gebracht werden. Die Wölbung über dem Hohlraum wird durch Zugabe frischer und feuchter Kohle unverletzt erhalten. Der Hohlraum wird natürlich allmählich größer und wird dann mit Vorteil für größere Werkzeuge gebraucht, die bis zuletzt zurückbehalten worden sind.

Wenn eine Ergänzung lebhaft backender Kohle nicht ausführbar, oder wenn nur die Erwärmung eines einzelnen Werkstückes erforderlich ist, so ist es zweckmäßig, das Feuer um ein schmiedeisernes oder gußeisernes Rohr herumzubauen und das Werkstück im Innern des Rohres auf die geeignete Härtetemperatur zu bringen. Das Eisen ist ein sehr guter Wärmeleiter

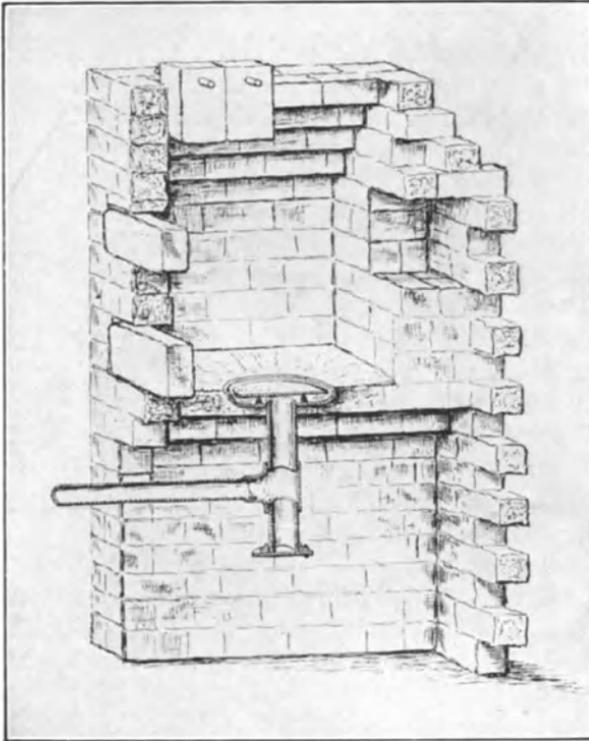


Abb. 180. Schmiedeherd für Härtezwecke.

und deswegen wird die Wärme in einem eisernen Rohr gleichmäßiger verteilt, als in einem Tonrohr oder in einer Tonmuffel. Wenn auch das Metallrohr schnell durchbrennt, so kann es fast kostenlos aus dem Abfallhaufen der Werkstatt ersetzt werden. Zur Erwärmung kleiner Gewindebohrer oder Spiralbohrer kann ein Blindflansch vom Rohrleger, eine gebrauchte Granate oder sogar ein alter eiserner Schmortopf in das Feuer gestellt und mit Blei oder Salz beschickt werden, um sich den Vorteil der

Erhitzung einer größeren Zahl von Werkzeugen auf einmal in einer gleichmäßigen Art zu verschaffen.

Wo ein Herd nur für das Schmieden und Härten von Werkzeugen gebraucht wird, kann ein feststehendes Gewölbe über demselben gebaut werden, wie es in Abb. 180 dargestellt ist. Wenn erst das Gewölbe durch und durch heiß geworden ist, strahlt es einen großen Teil der Hitze zurück und hilft die Temperatur gleichmäßig gestalten. Der als Brennstoff verwendete Koks fällt durch einen Schlitz in der Decke gegen die hintere Seite und der ganze Herd kann dicht verschlossen werden, so daß die einzige Möglichkeit für den Abzug der Verbrennungsgase eine von den zwei Stirnöffnungen ist, die, falls es wünschenswert ist, mit Ziegelsteinen verschlossen werden können. Diese Anordnung vermindert die Neigung zur Bildung von Glühspan auf dem Stahl. Der Ofen ist sowohl zum Erwärmen von Schnelldrehstählen als auch von gewöhnlichen Kohlenstoffstählen geeignet.

Eine große Menge verschiedener Öfen ist im Gebrauch, die mit festem, flüssigem oder gasförmigem Brennstoff geheizt werden, um besonderen Anforderungen des Härtereibetriebes zu genügen. Da Kataloge von Ofenfabrikanten leicht erhältlich sind, so ist es nicht nötig, hier im einzelnen konstruktive Besonderheiten wiederzugeben. Doch sollen einige Öfen, die sich in der Härtepraxis gut bewährt haben, näher besprochen werden.

Fester Brennstoff verschwindet allmählich aus dem Gebrauch und kann entweder nur wegen seiner Billigkeit oder wegen seines bequemen Bezuges für solche Gegenden empfohlen werden, wo Gas oder Heizöl teuer oder schwer zu beschaffen sind. Ein zweckmäßig gebauter Flammofen, in dem Koks mit einer geringen Menge Kohle vermischt, verbrannt wird, ist in Abb. 92 wiedergegeben. Diese Anordnung ist typisch für solche Öfen, die festen Brennstoff verbrennen und die zurzeit zum Erhitzen verschiedener Arten von Werkzeugen im Gebrauch sind. Die relativen Abmessungen sind natürlich verschieden, und besondere Sorge muß darauf gelegt werden, wirksame Zugklappen anzubringen. Der Zug kann mit Hilfe einer Tür an dem Aschenfall geregelt werden.

Die früher mit den Ölöfen verbundene Unsicherheit in der Erwärmung der Werkzeuge ist heute fast gänzlich beseitigt, und das gewöhnlichste Rohöl kann jetzt ohne Bedenken verbrannt werden, wodurch sich die Ausgaben für diese Beheizung bisweilen

bis unter die Kosten der Leuchtgasbeheizung ermäßigen. Was indessen die Bequemlichkeit anbetrifft, so ist Leuchtgas oder Generatorgas jeder anderen Art von Brennstoff überlegen. Das Leuchtgas kann mit Luftbrennern bei jedem üblichen Härteofen zur Anwendung kommen und Temperaturen bis zu  $1000^{\circ}\text{C}$  und darüber erzeugen. Für gewöhnliche Härtezwecke ist ein Gefäß, das aus Gußeisen oder Kesselblech hergestellt sein kann, besser als eine Muffel, da im ersteren Falle die Verbrennungsgase, die das Werkstück umgeben, weniger schädlich sind als die oxydierenden Einflüsse der unverdünnten Luft in der Muffel.

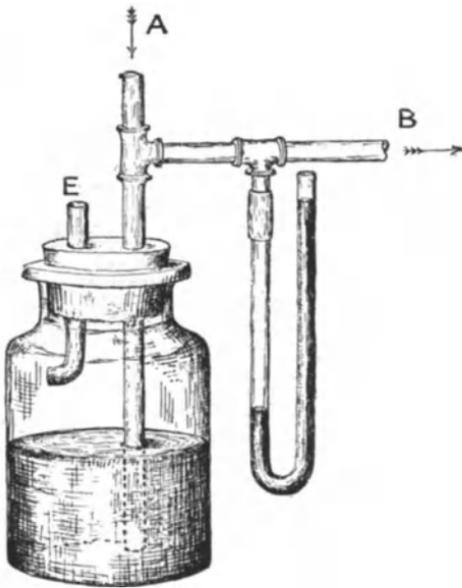


Abb. 181. Einfache Anordnung zum Regulieren von Preßluft.

gase, die das Werkstück umgeben, weniger schädlich sind als die oxydierenden Einflüsse der unverdünnten Luft in der Muffel.

Komprimierte Luft erweitert bedeutend die Anwendbarkeit von gasförmigem Brennmaterial, und es ist manchmal ratsam, sie sogar für niedrigere Temperaturen zu gebrauchen, um die Hitze nach jeder gewünschten, von den Heizkanälen unabhängigen Richtung zu leiten.

Wenn die Zuführung der komprimierten Luft aus einer Hauptleitung oder irgend einer anderen, nicht besonders für diesen Zweck vorgesehenen Quelle

erfolgt, dann ist ein bequemes Hilfsmittel zur Veränderung und Begrenzung des Druckes zweckdienlich. Abb. 181 ist eine einfache Ausführung einer Laboratoriumsvorrichtung, die sich sehr gut für diese Zwecke eignet. Die Luft tritt von der Hauptleitung bei A ein und geht bei B in den Ofen. Der Druck wird nach Bedarf durch die Tiefe geregelt, bis zu welcher das lange Rohr unter die Oberfläche des Quecksilbers eintaucht. Wenn der verlangte Druck überschritten wird, so wird das Quecksilber zurückgedrängt, und der Überschuß an Luft entweicht durch E. Es sind verschiedene erfolgreiche Versuche gemacht worden, das Gas an-

statt der Luft zu komprimieren. Aus rein theoretischen Gründen würde es ein Vorteil sein, wenn man nur den Druck des Gases zu überwachen hat, da der Druck der Luft bei normalen Temperaturen praktisch gleichbleibend ist.

Einen Härteofen mit Gasfeuerung von praktischer Bauart, der fast in jeder neuzeitlichen Härtereier im Gebrauch ist, stellt die Abb. 182 dar. Für diesen Ofen<sup>1)</sup> wird im allgemeinen Leuchtgas, welches mit Luft von einem Druck von 700—800 mm Wassersäule vermischt wird, verwendet. Die in einem Gebläse erzeugte Druckluft gelangt zunächst in den Windkessel *a* und

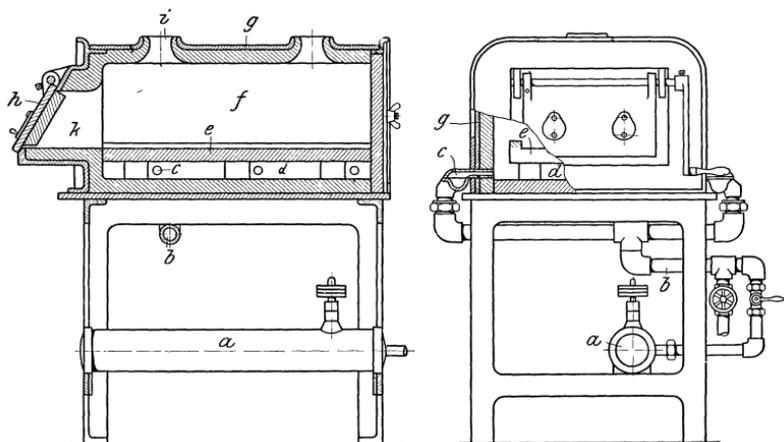


Abb. 182\*. Härteofen mit Gasfeuerung.

dann in die Rohrleitung *b*, in der sich die Druckluft mit dem Gas vermischt. Durch die zu beiden Seiten des Ofens angeordneten und zueinander versetzten Düsen *c* tritt das Gasgemisch in den Verbrennungsraum *d*, der durch eine Schamotteplatte *e* vom Heizraum *f* getrennt ist. „Die Schamotteplatte *e* füllt in ihrer Breite den mit Schamotte ausgefüllten Mantel des Ofens nicht aus, sondern zwischen der Auskleidung des Mantels und den Seitenflächen der Platte *e* ist zu beiden Seiten derselben ein Spalt offen gelassen, durch den die Hitze aus dem Verbrennungsraum in den Heizraum eintreten kann. Hierdurch wird der Vorteil erzielt, daß die Hitze im Gegensatz zu den bisher gebräuchlichen Muffelöfen unmittelbar auf den zu erwärmen-

1) Blume, Werkstattstechnik 1908, S. 282.

den Gegenstand einwirken kann.“ Zur Vermeidung eines Temperaturabfalles beim Öffnen der Muffel sowie auch zum Vorwärmen der zu erheizenden Gegenstände dient der durch die Tür *h* verschlossene Vorbau *k* und zur Beobachtung der fortschreitenden Erwärmung des zu erheizenden Arbeitsstückes dienen in der Tür vorgesehene Schaulöcher. Durch die beiden an der Stirnfläche des Ofens befindlichen Öffnungen *i* können die Abgase entweichen. Bei der Erzeugung sehr hoher Temperaturen müssen diese beiden Öffnungen abgedeckt werden. Bei Verwendung von Muffelöfen besitzen die rechteckigen Muffeln gegenüber den ovalen Muffeln den Vorteil, daß sie, wenn sie auch weniger halt-

bar sind als ovale, doch die größte Raumausnutzung gestatten.

Die Elektrizität als Wärmequelle ist ebenfalls für Muffelöfen herangezogen worden. Ein Ofen dieser Art (Abb. 183), von Heräus in Hanau gebaut, besteht aus Berliner Schamotte <sup>1)</sup>.

Als Wärmeüberträger dient ein Platinband von 0,007 mm Stärke.

Der Hauptwert der mit Gas oder Öl geheizten Öfen liegt nicht allein darin, daß sie sauber im Gebrauch sind, oder daß sie

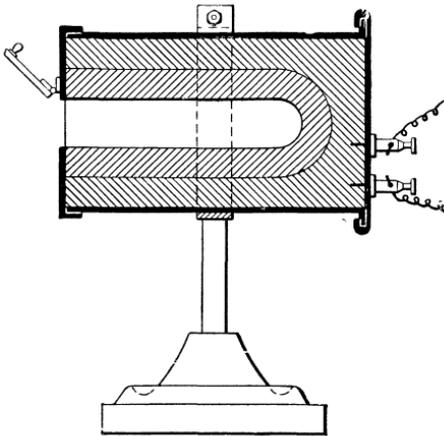


Abb. 183\*. Muffelofen mit elektrischer Heizung.

schnell auf jede gewünschte Temperatur gebracht werden können; es ist vielmehr die Möglichkeit, die erforderliche Temperatur während jeder gewünschten Zeitdauer gleichmäßig auf derselben Höhe zu erhalten. Und daher kann der Ofen unter der Voraussetzung, daß die Gaszufuhr konstant ist, bis zu der geeigneten Temperatur erhitzt werden, und die Werkzeuge können im Ofen bleiben, bis sie jene Temperatur erreicht haben. Dies erleichtert die Überwachung, macht Überhitzen fast unmöglich und vereinfacht bei Gegenständen derselben Art die Härtearbeit. Es

<sup>1)</sup> Stahl und Eisen 1909, S. 664.

ist jedoch notwendig, zuerst nicht nur auf den Gashahn, sondern auch auf die Luftklappen zu achten, um Unregelmäßigkeiten während der Erhitzung sowie Glühspanbildung zu vermeiden.

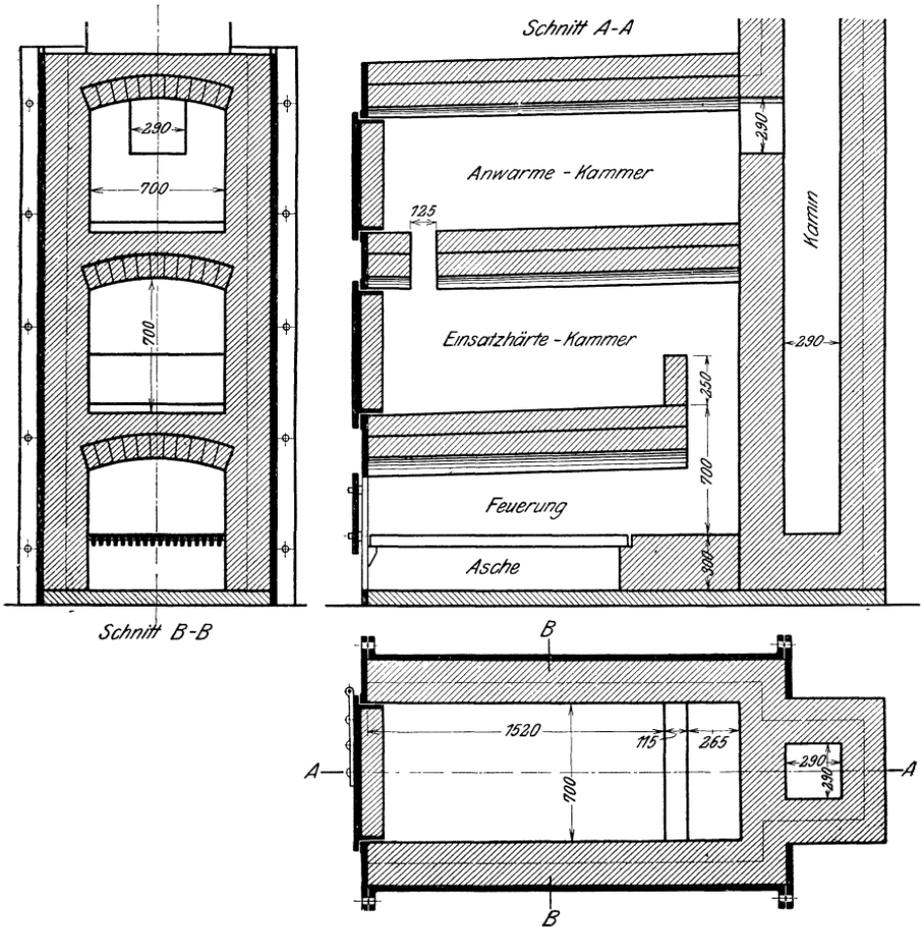


Abb. 184\*. Ofen für Einsatzhärtung.

Ein geeigneter Ofen für Einsatzhärtung muß nach Giesen<sup>1)</sup> so beschaffen sein, daß er für lange Zeit auf eine sehr gleichmäßige Temperatur bis zu 1000° C gehalten werden kann. Es darf weder das Feuerungsmaterial noch die Flamme unmittelbar

<sup>1)</sup> Werkstattstechnik 1908, S. 355.

mit der Zementierkiste in Berührung kommen. Kammern und Feuerkanäle bestehen aus Schamottesteinen, die Türen müssen, um das Öffnen derselben für die Beurteilung des Wärmegrades möglichst zu vermeiden, genau schließen und verschließbare Schaulöcher von ungefähr 50 mm Durchmesser erhalten. Durch einen Schieber muß die Zugluft geregelt werden. Der in Abb. 184 dargestellte Härteofen besitzt eine obere Kammer zum vorherigen Anwärmen der zu härtenden Gegenstände. Als Brennstoff dient Kohle, sie wird aber zweckmäßiger wegen einer besseren Wärme-



Abb. 185. Salzbadhärteofen von Brayshaw.

regulierung durch Gasfeuerung ersetzt. Die Zementierkisten werden aus Guß- oder Schmiedeeisen hergestellt. Obgleich die letzteren teuer sind, können sie doch ein vielfaches Wiedererhitzen besser vertragen als gußeiserne. Die Kisten sollen nicht zu groß sein, da sonst die in der Mitte der Kiste befindlichen Gegenstände nicht gleichmäßig erhitzt werden. Auch muß darauf geachtet werden, daß zwischen Werkstück und Kistenwand ein genügend großer Raum zur Aufnahme des Härtepulvers verbleibt. Die Kiste wird mit einem gut schließenden Deckel oder mit

einem Schieber versehen, durch den zur Feststellung der Kohlungstiefe des Werkstückes ein Stab aus weichem Eisen hindurchgesteckt wird.

Viele Jahre hindurch ist Blei zum Härten von Feilen, Bohrern, Stechbeiteln usw. allgemein benutzt worden, und hauptsächlich deshalb, weil das Blei bei einiger Sorgfalt eine ausreichende Sicherheit für gleichmäßige Erhitzung gewährt. Das spezifische Gewicht des Bleis ist aber höher als das des Stahls, und aus diesem Grunde muß der zu erhitzende Gegenstand in das Bleibad hineingedrückt und in dem Bade niedergehalten werden. Das Blei hat ferner das Bestreben, in den Höhlungen der zu härtenden Werkzeuge oder zwischen den Zähnen, z. B. von Feilen und Fräsern, haften zu bleiben. Blei oxydiert sich außerdem leicht, und es kann auch noch aus anderen Gründen bei Öffnen

mit großen Abmessungen nicht allgemein angewendet werden. Da das Blei auch sein eigenes Oxyd und Sulfid zu lösen vermag, so können durch den Angriff dieser Substanzen weiche Stellen auf dem Stahl entstehen. Indessen liegen hierüber genaue Beobachtungen nicht vor. Es ist nötig, das Bleibad von Zeit zu Zeit umzurühren, besonders dann, wenn es nur von unten durch

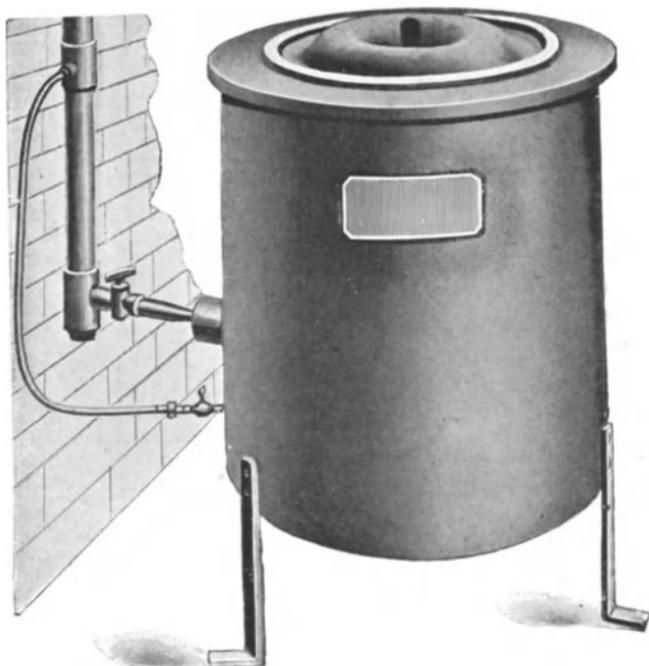


Abb. 186. Einfache Form eines Salzbadofens.

ein Koksfeuer erhitzt wird oder wenn die Heizgase nur an einer Seite des Bleitopfes vorbeistreichen.

Von größerer Bedeutung als Bleibäder sind für das Härten und Anlassen die in neuerer Zeit immer mehr in Anwendung kommenden Salzbadhärteöfen. Alle Salzgemische, die für Stahlhärtezwecke geeignet sind, schmelzen bei einer Temperatur, die bedeutend über dem Schmelzpunkt des Bleies liegt, auch sind Salzgemische viel schlechtere Wärmeleiter als das Blei. Es ist schwierig, die Ausscheidung von erstarrten Salzen rund herum am oberen Rande der Salzbehälter zu vermeiden. Wegen dieser Unannehmlichkeit entstand die Praxis, noch besondere Substanzen,

wie Salpeter, kalzinierte Soda oder kaustische Soda dem Salzgemisch hinzuzufügen, um seinen Schmelzpunkt zu erniedrigen.

Wesentlichen Anstoß zum Gebrauch von Salzbadern in England hat Brayshaw gegeben. Eine Ansicht seines Ofens stellt Abb. 185 dar.

Eine einfachere Ofenform ist in Abb. 186 abgebildet. Der Ofenkörper besteht aus einem schmiedeeisernen Zylinder mit Ziegelsteinfutter. Es ist ein mit Luft gefüllter Zwischenraum vorhanden, um die Ausstrahlung einzuschränken. Aus demselben Grunde wird zuweilen eine Lage Asbest auf die äußere Seite der schmiedeeisernen Umwandung gelegt. Ein Kranzbrenner be-

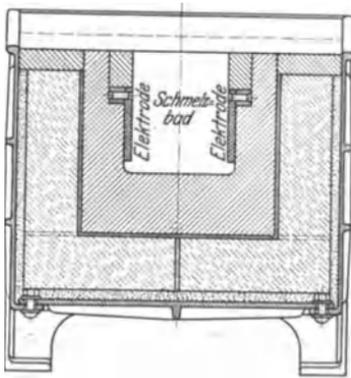


Abb. 187\*. Elektrisch geheizter Salzbadofen. Längsschnitt.

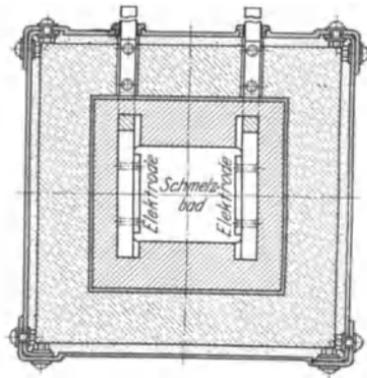


Abb. 188\*. Elektrisch geheizter Salzbadofen. Querschnitt.

findet sich auf dem Boden des Ofenkörpers, und das Gefäß mit dem Salzgemisch ruht auf seitlichen Vorsprüngen oder auf einer durchlocherten Schneide, die auf das Ziegelsteinfutter aufgelegt ist. Die Flamme und die heißen Gase geben, wenn sie zwischen der Außenseite des Salzgefäßes und der inneren Seite des Ziegelsteinfutters hindurchstreichen, ihre Hitze an zahlreiche Vorsprünge (Buckel) ab, die an der Außenseite des Gefäßes angebracht sind. Auch wird zuweilen die Hitze auf die Oberfläche des geschmolzenen Salzes mit Hilfe eines gebogenen Deckels hingeleitet. Auf diese Weise wird das Gefäß bis zur äußersten oberen Kante gleichmäßig erhitzt und eine Anhäufung von erkaltetem Salz findet daher nicht statt. Zu gleicher Zeit streichen die Verbrennungsgase über die Oberfläche des Salzes, wodurch die atmosphärische Oberflächenoxydation der in das Salzbad eingetauchten Werkzeuge verringert wird.

Seitdem die Elektrizität als Wärmequelle für Härteöfen in Anwendung gekommen ist, hat das Salzbad für die Härterei erst seine große Bedeutung erlangt. Besonders der Salzbadofen der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin hat weiteste Verbreitung gefunden<sup>1)</sup>. Dieser Ofen besteht aus einem kastenförmigen, feuerbeständigen Behälter, der seinerseits wieder in einem mit feuerfestem Material ausgefütterten, eisernen Kasten eingebaut ist (Abb. 187 und 188). Der Behälter ist mit Salz, meist einer Mischung von Chlorbarium und Chlorkalium, für Schnelldrehstähle nur Chlorbarium, angefüllt. An den einander gegenüberliegenden Innenwänden sind zwei aus schmiedeeisernen Platten hergestellte Elektroden angebracht, die den elektrischen Strom (Wechselstrom) in das Salzbad leiten. Die beiden Elektroden sind durch Kupferschienen mit einem Transformator verbunden, durch welchen die elektrische Energie auf die niedrige Gebrauchsspannung umgeformt wird. Durch Änderung des Übersetzungsverhältnisses der primären Wicklungen des Transformators zu den sekundären

kann die Schmelzbadstromstärke und damit die Temperatur des Bades in einfachster Weise geregelt werden, und zwar ohne Energieverlust. Da die Metallsalze bekanntlich nicht in kaltem, sondern erst in feurig-flüssigem Zustande Leitfähigkeit besitzen, so erfolgt die Einleitung der Schmelzung mit Hilfe einer beweglichen Elektrode und eines Stückchens Bogenlampenkohle (Abb. 189). Durch Zwischenschaltung zwischen eine Haupt- und Hilfelektrode wird die Kohle in Weißglut versetzt, wodurch das unmittelbar darunter liegende Salz geschmolzen

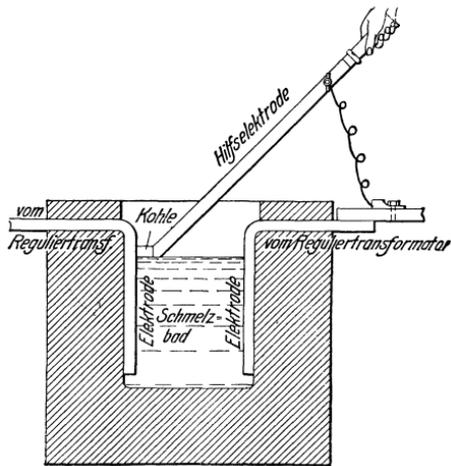


Abb. 189\*. Vorrichtung zum Schmelzen des Salzgemisches in einem elektrisch geheizten Salzbadofen.

Wicklungen des Transformators zu den sekundären kann die Schmelzbadstromstärke und damit die Temperatur des Bades in einfachster Weise geregelt werden, und zwar ohne Energieverlust. Da die Metallsalze bekanntlich nicht in kaltem, sondern erst in feurig-flüssigem Zustande Leitfähigkeit besitzen, so erfolgt die Einleitung der Schmelzung mit Hilfe einer beweglichen Elektrode und eines Stückchens Bogenlampenkohle (Abb. 189). Durch Zwischenschaltung zwischen eine Haupt- und Hilfelektrode wird die Kohle in Weißglut versetzt, wodurch das unmittelbar darunter liegende Salz geschmolzen

<sup>1)</sup> Vgl. Stahl und Eisen 1909, S. 667.

wird. Durch langsames Fortbewegen der Hilfelektrode zur zweiten Hauptelektrode wird ein flüssiger Streifen durch das Bad gezogen, wodurch der Stromkreis geschlossen wird. Allmählich kommt auch das übrige Salz zum Schmelzen. Die verlangte

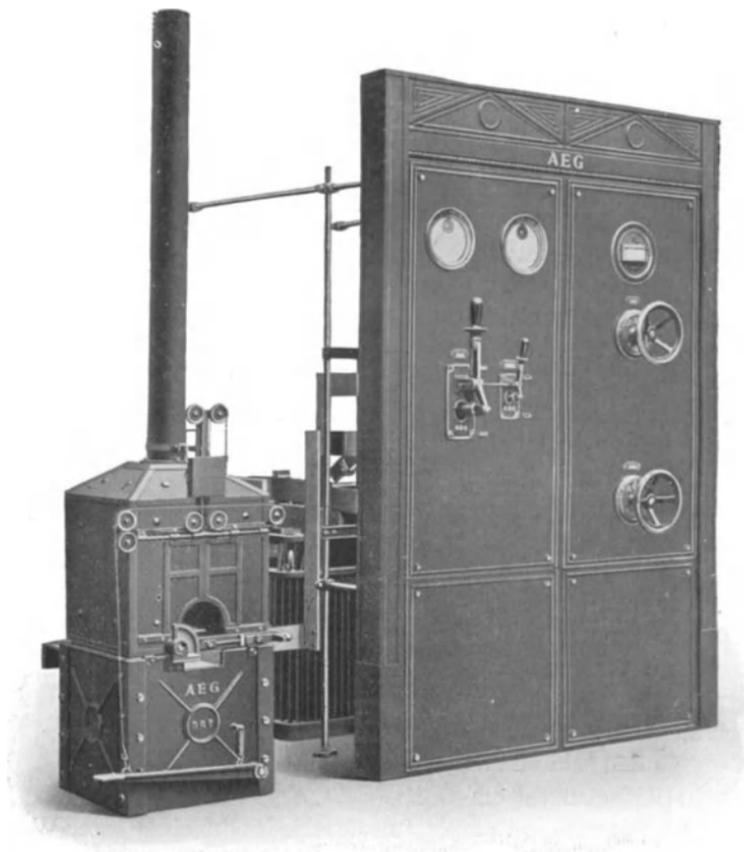


Abb. 190\*. Neuzeitliche Salzbadofen-Anlage.

Temperatur wird durch Regulierung der Sekundärspannung konstant erhalten. Nur die oberste Salzschiicht zeigt natürlich eine etwas geringere Temperatur. Die Temperatur wird durch ein Pyrometer gemessen und von Zeit zu Zeit kontrolliert. Hierüber wird weiter unten noch die Rede sein. Eine neuzeitliche Salzbadofen-Anlage ist in Abb. 190 wiedergegeben.

Beim Eintauchen eines Werkstückes in das geschmolzene Salzbad wird die Temperatur des Salzes in der unmittelbaren Nähe des Werkstückes unter den Schmelzpunkt heruntergedrückt, wodurch eine Schicht Salz rund um das Werkstück erstarrt. Diese Salzschicht ist ein verhältnismäßig schlechter Wärmeleiter, und sie bleibt so lange unverändert, bis das Werkstück genügende Wärme angenommen hat, um den Schmelzpunkt des Salzes zu erreichen. Beim Herausnehmen des erhitzten Werkstückes haftet das geschmolzene Salz an und hüllt es vollständig ein. Deshalb fällt die Temperatur des Werkstückes langsamer und regelmäßiger. Die dünne Salzdecke wirkt jedoch nicht störend auf das Abschrecken ein, sondern sie löst sich auf, sobald sie mit dem Wasser in Berührung kommt und hinterläßt eine rein metallische Oberfläche, die kaum angelaufen (oxydiert) ist.

Ein weiterer Vorteil, der nicht so gut bekannt ist und der sehr wenig ausgenutzt wird, ist die Leichtigkeit, mit welcher der Schmelzpunkt der Salzgemische geändert werden kann. Wenn man z. B. einen Stahl, der wenigstens auf  $750^{\circ}$  C erhitzt werden muß, um ihn durch Abschrecken vollständig zu härten, auswählt, dann kann man ein Salzgemisch anwenden, das bei  $760^{\circ}$  C schmilzt. Die niedrigste Härtetemperatur muß also erreicht werden, um das Bad geschmolzen zu erhalten, und der zu behandelnde Stahlgegenstand muß noch nahezu dieselbe niedrigste Temperatur erreichen, bevor das Salz, welches beim Eintauchen des Gegenstandes unmittelbar rund um denselben erstarrt, abschmelzen kann. Eine Temperatur von  $20-30^{\circ}$  C über diese niedrigste Temperatur fügt dem Werkstück, wenn sie nicht ungebührlich verlängert wird, keinen Schaden zu, und es ist für einen ungeübten Härter ein leichtes, ohne Zuhilfenahme eines Wärmeanzeigers innerhalb dieses Spielraumes zu bleiben. Beim Herausnehmen des Werkstückes aus dem Ofen tropft das flüssige Salz zum Teil ab, aber kurz darauf kristallisiert ein Überzug desselben auf der Oberfläche, der anzeigt, daß zum Abschrecken geschritten werden muß.

Diese Art des Härtens stellt sicherlich einen großen Fortschritt in bezug auf genaue Einhaltung der Härtetemperatur dar und ist ganz unabhängig von dem Harter, von der Art der Witterung oder von anderen möglichen Zufälligkeiten. Aber sie verläuft ziemlich langsam und begreift nicht die besten erzielbaren Härtungsergebnisse in sich, die für eine fehlerlose Arbeit bei

schwierigen Werkzeugen mit veränderlichem Querschnitt verlangt werden müssen. Die schwächeren Querschnitte und die Ecken solcher Werkzeuge werden sich in jedem anderen Ofen schneller erwärmen als die stärkeren Teile, und da gleichmäßiges Erhitzen wesentlich zum Erfolge führt, ist es notwendig, auf die Temperatur des Ofens selbst das größte Gewicht zu legen, indem dieselbe richtig geregelt wird, so daß zu hartende Gegenstände so lange der Hitze ausgesetzt werden können, wie es für alle Teile notwendig ist, damit sie durch und durch gleichmäßig heiß werden, ohne daß irgend ein Teil überhitzt wird. Mit anderen Worten: Wenn die Temperatur des Ofens gleichmäßig und richtig ist, dann stellt sich auch die richtige Temperatur bei dem Werkstück von selbst ein.

Nach diesen Betrachtungen und den früheren Angaben über die Bedeutung der Haltepunktskurven (Abb. 20) gelangt man zu den Bedingungen für die Stahlhärtung, die für die besten gehalten werden, soweit sie in allgemeinen Ausdrücken festgelegt werden können. Dies heißt, daß die Werkstücke etwa  $20-40^{\circ}\text{C}$  über den Umwandlungspunkt der Erhitzungskurve erhitzt werden müssen und daß man ihnen die Möglichkeit geben sollte, sich vor dem Abschrecken gleichmäßig bis auf eine Temperatur abzukühlen, die ungefähr  $10-20^{\circ}\text{C}$  über dem Umwandlungspunkt der Abkühlungskurve liegt.

Diese Bedingungen können in einem einzigen Salzbadofen nicht gut innegehalten werden, weil das zwischengeschaltete Abkühlen in der Luft während eines großen Temperaturbereiches von etwa  $780^{\circ}\text{C}$  auf  $700^{\circ}\text{C}$  wegen des schützenden Salzüberzuges nicht ganz gleichmäßig vonstatten geht. Diese Arbeit wird auch ohne Gebrauch eines Wärmeanzeigers genauer folgendermaßen ausgeführt:

Zuerst wird der zu härtende Gegenstand ungefähr  $40^{\circ}\text{C}$  über seine niedrigste Hartetemperatur in dem Salzbad erhitzt. Er wird dann nach einem zweiten Bade übergeführt, dessen Schmelzpunkt z. B.  $700^{\circ}\text{C}$  beträgt, und dessen Temperatur dadurch aufrecht erhalten werden kann, daß die erhitzten Gegenstände beständig hineingebracht werden. In diesem zweiten Bade kühlt sich der Gegenstand gleichmäßig bis zu der genauesten Hartetemperatur ab. Bei seiner Herausnahme wird er in einen Überzug von flüssigem Salz eingehüllt, das bald über der ganzen

Oberfläche kristallisiert und hierdurch andeutet, daß das Abschrecken vorgenommen werden muß.

Auf diese Weise ist den Bedingungen der neueren Theorie und Praxis des Härtens Genüge geleistet. Dieses Verfahren der Anwendung eines Ofenpaares wird erfolgreich zum schnellen Fertigstellen regelmäßig geformter Werkstücke, ob dieselben von sich wiederholender oder verschiedener Art sind, benutzt.

Es ist manchmal notwendig, ein Ende, die Seite oder nur einen Teil der Außenfläche eines Gegenstandes zu härten, ohne den übrigen Teil zu härten, oder die Mitte oder einen schmalen Streifen rund um die Mitte eines Werkstückes in ungehärtetem Zustande zu erhalten. Selbst wo besondere Geräte zur Verfügung stehen, ist oft die Gefahr einer verhängnisvollen Spannung zwischen den gehärteten und ungehärteten Teilen sehr groß. Mit einem Ofenpaar sind schwierige Arbeiten dieser Art ziemlich leicht durchzuführen. Das Werkstück wird in dem ersten Bade wie gewöhnlich erhitzt und beim Herausnehmen an den Teilen, die weich bleiben sollen, durch Auflegen nasser Asbestpolster usw. gekühlt, bis die Temperatur dieser Teile bis unter  $680^{\circ}\text{C}$ , also bis auf kaum sichtbare Rotglut, gefallen ist. Inzwischen werden sich die ungekühlt gebliebenen Teile bis auf etwa  $700^{\circ}\text{C}$  abgekühlt haben, und nach dem Eintauchen in das zweite Bad wird die Temperatur ausgeglichen sein. Aber beim Herausnehmen aus dem zweiten Bade und beim Abschrecken werden, obgleich die Temperatur durchweg gleichmäßig ist, nur jene Teile des Werkzeuges, die nicht unter  $680^{\circ}\text{C}$  abgekühlt wurden, hart werden, und zwischen den gehärteten und ungehärteten Teilen wird der kleinste erreichbare Spannungsgrad vorhanden sein.

Es ist schon darüber gesprochen worden, mit welcher Leichtigkeit der Schmelzpunkt des Salzbadens nach Wunsch innerhalb gewisser Grenzen geregelt und seine Temperatur ohne Anwendung eines Wärmeanzeigers geprüft werden kann. Es soll noch bemerkt werden, daß die Schmelzpunkte einiger Salzmischungen während langer Zeitabschnitte praktisch unverändert bleiben trotz der kleinen Mengen von Eisenoxyd, die sich ansammeln und in dem Bade umherschwimmen.

Die Schmelzpunkte von Salzgemischen, die zum Härten von gewöhnlichen Kohlenstoffstählen geeignet sind, schwanken zwischen  $650$  und  $800^{\circ}\text{C}$ , und von solchen zum Anlassen derselben Stähle zwischen  $200$  und  $350^{\circ}\text{C}$ . Bei weit über ihren

Schmelzpunkten liegenden Temperaturen verdampfen diese Salze in geringem Maße und veranlassen hierdurch, daß eiserne Gegenstände in der Nachbarschaft des Ofens schnell rosten. Die kleinen Eisenoxydteilchen, die sich im Bade ansammeln, können an Werkzeugen mit sehr feinen Zähnen, z. B. Feilen, hängen bleiben und die Ursache dazu werden, daß die Zähne nach dem Abschrecken weich bleiben. Wenn die Feilen in eine Lösung von Ferrozyankalium getaucht und vor dem Einbringen in das Bad trocknen können, dann kommt dies nicht vor. Dieses Gegenmittel ist jedoch nicht ganz zufriedenstellend, da der Überzug von Ferrozyankalium sich zersetzt und dadurch dem Bade noch mehr Eisenoxyd zugeführt wird. Zyankalium besitzt diesen Nachteil nicht, aber wegen seiner Giftigkeit kann seine regelmäßige Anwendung nicht empfohlen werden. Versuche, die mit anderen unschädlichen Mitteln gemacht wurden, waren nicht besonders erfolgreich, und man wird sich daher zum Härten von Feilen am besten des Bleibades bedienen.

Ein einfacher rechtwinkliger eiserner Trog, eine alte Wanne oder selbst ein Eimer reichen in den meisten Fällen zur Aufnahme der Härteflüssigkeit aus. Für sehr verschieden geformte Werkstücke besitzt ein Bottich, der bequem besonderen Zwecken angepaßt werden kann, eine große Annehmlichkeit. Es ist zweckmäßig, eine Wasserleitung in demselben vom Boden hochzuführen, die sich, wenn nötig, in zwei Arme verzweigt. Zum Härten von Werkzeugstählen eignet sich am besten ein Gefäß, das in Abb. 191 dargestellt ist und den Grundriß, Längs- und Querschnitt erkennen läßt<sup>1)</sup>. Das eigentliche Härtegefäß *a* dieses Kühlwasser- und Ölbehälters „ist durch eine Zwischenwand *c* in zwei Abteilungen geteilt, von denen die eine als Wasser- und die andere als Ölgefäß dient. Das Gefäß *a* ist von dem Kühlwassergefäß *b* umgeben, in welchem mittels der Wasserzufuhrleitung *d* und des Überlaufrohres *e* ein fortwährender Zu- und Abfluß von kaltem Wasser unterhalten werden kann. Hierdurch kann, bei sorgfältiger Regelung des Wasserzuffusses im Kühlwassergefäß, selbst bei anhaltendem Härten eine stets gleichbleibende Temperatur des Härtewassers erzielt werden. Beim Härten schwerer Gegenstände, welche nur mangelhaft im Härtewasser bewegt werden können, kann dasselbe durch ein in das Wassergefäß

<sup>1)</sup> Blume, Werkstatttechnik 1908, S. 284.

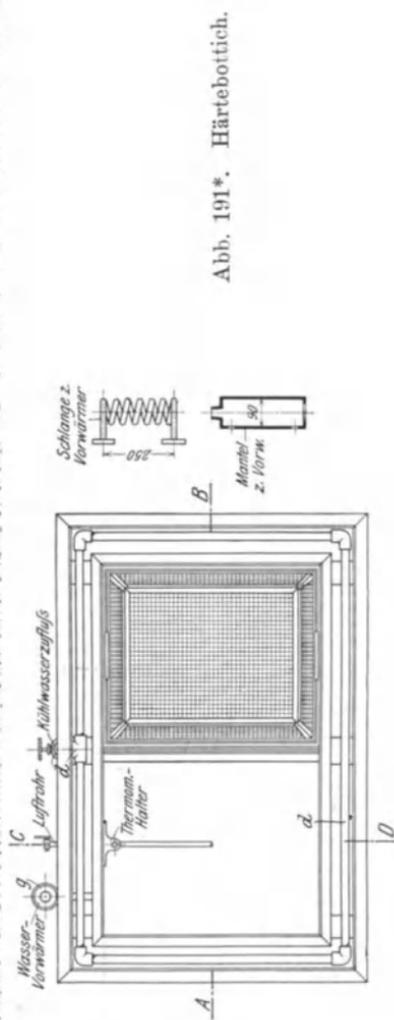
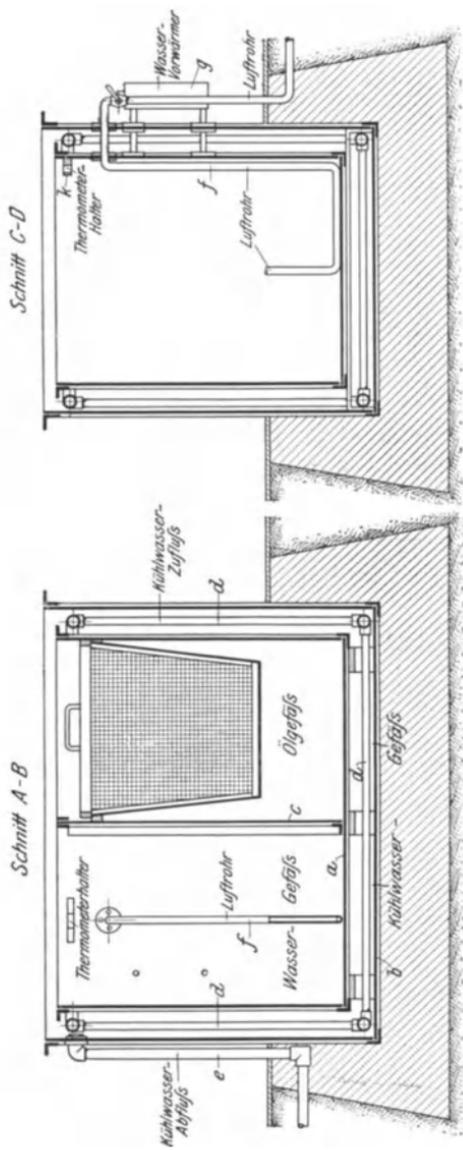


Abb. 191\*. Härtebottich.

hineingeleitetes Luftrohr mittels Druckluft in genügende Wallung versetzt werden. Da zur Abkühlung großer Gegenstände eine geringere, zur Abkühlung kleiner Gegenstände dagegen eine höhere Temperatur des Härtewassers erforderlich ist, so ist das Wassergefäß mit einem Vorwärmer  $g$  versehen, welcher die Er-

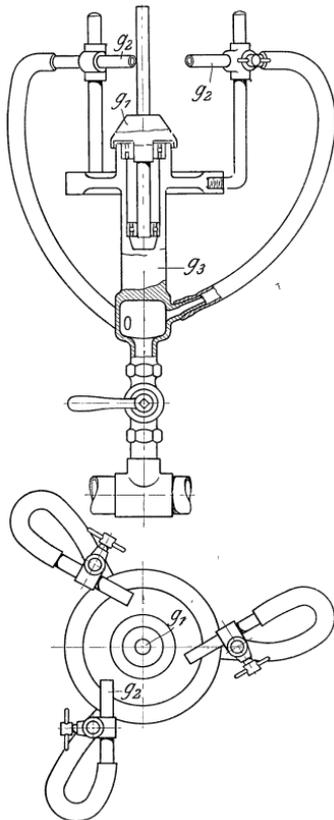


Abb. 192\*. Lufthärteapparat für Schnelldrehstähle.

wärmung des Härtewassers über die Zimmertemperatur hinaus ermöglicht. Dieser Vorwärmer besteht aus einer Kupferschlange, welche durch Rohrstutzen mit dem Härtewassergefäß in Verbindung steht, sowie aus dem Mantel, welcher zum Umhüllen der Kupferschlange dient. Durch Erhitzen der Kupferschlange mittels eines Bunsenbrenners wird eine verhältnismäßig schnelle Erhöhung der Temperatur des Härtewassers erzielt. Zur Kontrolle der Härtewassertemperatur kann in dem Thermometerhalter  $k$  ein Thermometer eingesetzt werden. Zum Sammeln und leichten Herausnehmen der gehärteten Gegenstände aus dem Ölgefäß ist in demselben ein heraushebbarer Drahtkorb angebracht.“

Da Schnelldrehstähle zweckmäßig nur in Talg, Petroleum oder Luft gehärtet werden dürfen, so muß auch eine neuzeitlich eingerichtete Härtereier mit einem Lufthärteapparat ausgerüstet sein. Das in Abb. 192 abgebildete Gerät<sup>1)</sup>

eignet sich besonders zum Härten von Fräsern, doch können auch alle anderen Werkzeuge mit diesem Apparate abgekühlt werden. „Dieser Lufthärteapparat besteht aus dem Ständer  $g_3$ , den Düsen  $g_2$  und der Spindel  $g_1$ . An dem unteren Ende des Ständers befindet sich

<sup>1)</sup> Blume, Werkstatttechnik 1908, S. 288.

ein Ventil, welches mit der Luftleitung verbunden ist. Im oberen Teil des Ständers  $g_1$  ist die Spindel  $g_3$  mittels Kugellager gelagert, an der darunter befindlichen Scheibe sind die Düsenhalter befestigt, an welchen die Düsen  $g_2$  durch Flügelschrauben festgeklemmt bzw. in die richtige Lage eingestellt werden können. Beim Härten bzw. Abkühlen von Drehstählen usw. durch Luft kann die Spindel  $g_1$  entfernt werden.“

Das Anlassen von Werkzeugstählen erfolgt, wie schon erwähnt, zweckmäßig in einem Ölbad, das auf die gewünschte Anlaßtemperatur erhitzt wird. Natürlich muß der Siedepunkt des Öles über  $300^{\circ}\text{C}$  liegen. Je nach dem Grade der gewünschten Zähigkeit werden die Werkzeuge 10—30 Minuten in dem Bade belassen.

Die Ausrüstung einer Härterei schließt auch eine Sammlung einzelner Werkzeuge ein, die nicht besonders beschrieben zu werden brauchen; Zangen von verschiedenen Längen und Stärken mit gebogenen und flachen Mäulern; Eisenstangen zur Herstellung von Haken; Eisenblech und Asbest zum Bedecken der Teile, die eine sehr langsame oder eine nicht bis zur Härtetemperatur steigende Erwärmung verlangen; Eisenrohre, Kisten für die Einsatzhärtung oder irgend ein feuerbeständiger Behälter, der dicht verschlossen werden kann; ein Vorrat von Eisen- und Stahlpfeilspänen, so daß ein Gegenstand zwecks Ausglühens verpackt werden kann und eine große Anzahl anderer Dinge, die häufig aus dem Abfallhaufen der Werkstatt aufgelesen werden können und nichts kosten, aber von Wert sind, wenn eine aus dem üblichen Rahmen fallende Arbeit schnell und gut ausgeführt werden soll.

## 2. Die Wärmeüberwachung in der Härterei.

Die Brauchbarkeit eines Werkzeuges hängt hauptsächlich von der Art der Wärmebehandlung während seiner Anfertigung ab. Da schon verhältnismäßig geringe Temperaturschwankungen, die auch von einem erfahrenen Härter nicht ohne Hilfsmittel erkannt werden können, einen ungünstigen Einfluß auf das zu fertigende Werkzeug haben, so ist es notwendig, die Härterei mit Geräten auszurüsten, die eine genaue Temperaturmessung in den angewendeten Öfen und eine dauernde Überwachung dieser Temperatur gestatten.

Bevor besondere Geräte für die Temperaturmessung in der Härtereie in Aufnahme kamen, verließ man sich einzig und allein auf das persönliche Urteil des betreffenden Härterers.

Der Härter, der die Temperatur mit dem Auge mißt, besitzt in der größeren oder geringeren Empfindlichkeit der Netzhaut des Auges ein ziemlich sicheres Meßgerät, das man als eine Art optisches Pyrometer bezeichnen kann. Dieses einfache Verfahren der Temperaturbestimmung ist aber unzuverlässig, weil das Auge physiologischen Einwirkungen unterworfen ist. Die Farbenempfindlichkeit ist nur relativ zuverlässig und hängt von der Witterung, von der künstlichen Beleuchtung der Werkstatt, von der Übung des Härterers und von anderen Umständen ab. Um dem Auge bei dieser Unzulänglichkeit behilflich zu sein, werden häufig rote Gläser von verschiedenen Tönungen gebraucht, die man zwischen das Auge und den dunkelrot bis weißglühend erhitzten Gegenstand bringt. Man schaltet auf diese Weise alle übrigen Lichtstrahlen mit Ausnahme der roten aus und beurteilt die Temperatur des betreffenden Gegenstandes nur nach der Intensität des roten Lichts. Ein Gerät, das auf einem Farbenvergleich mit der unter Beobachtung stehenden Lichtquelle und einer bestimmten Lichtquelle, deren Helligkeit und Temperatur man kennt, beruht, ist als Wanner-Pyrometer bekannt. Es wird gewöhnlich zum Messen der Temperatur von geschmolzenen Metallen benutzt. Wanner-Pyrometer werden für Temperaturen von 600° C aufwärts gebaut.

Für allgemeine Zwecke wird häufiger das Féry-Pyrometer angewendet, das in zwei Ausführungen vorkommt. Die ältere Form besteht aus einer Röhre und einem empfindlichen Thermolement aus Kupferkonstanten (Legierung von meist gleichen Teilen Kupfer und Nickel von großem elektrischen Leitungswiderstand), dessen Lötstelle genau im Brennpunkte eines versilberten Hohlspiegels liegt. Die Wärmestrahlen des Ofens werden auf das Element geworfen. Die Temperatur des Elementes wird dann auf ein empfindliches Galvanometer übertragen und durch den Ausschlag des Zeigers die Temperatur ermittelt. Die neuere Form weicht im äußeren Aussehen nicht wesentlich von der älteren Form ab, jedoch ist das Thermolement in dem Brennpunkte des Spiegels durch eine Spirale von zwei ungleichen Metallen ersetzt, die sich infolge der verschiedenen Wärmeausdehnung der beiden Metalle mehr oder weniger, je nach der Temperatur, aufwickelt. Die sehr kleine

Spirale ist nur an einem Ende befestigt, das andere Ende ist mit einer kleinen Aluminiumnadel verbunden, die sich über einem eingeteilten Zifferblatt bewegt und auf demselben die erreichte Temperatur anzeigt. Die Féry-Pyrometer verlangen eine genaue Einstellung des Brennpunktes und eine sehr sorgfältige Behandlung. Sie sind zwar auch nicht allgemein anwendbar, scheinen sich aber für solche Öfen am besten zu eignen, die auf lange Zeit ohne Unterbrechung in Tätigkeit sind, z. B. Glühöfen, Öfen für Einsatzhärtung und automatische Hartemaschinen.

Da diese Pyrometer sowie die sog. Widerstandspyrometer für die allgemeinen Hartezwecke weniger von Bedeutung sind, so erübrigt es sich, ihre Wirkungsweise sowie ihre Bauart hier genauer anzugeben. Für die Messung von Temperaturen, die für den Härter von Wichtigkeit sind, kommen heute fast ausschließlich thermoelektrische Pyrometer in Frage, welche daher eine ausführlichere Betrachtung verlangen.

Die thermoelektrischen Pyrometer bestehen im Prinzip aus einem Thermoelement in Verbindung mit einem genügend empfindlichen auf Temperaturgrade geeichten Galvanometer. Unter Thermoelement versteht man zwei im allgemeinen etwa 0,6 bis 0,7 mm starke Drähte aus verschiedenen Metallen oder Metalllegierungen, die an dem einen Ende zusammengeschmolzen sind. Wenn die Verbindungsstelle dieser beiden Drähte erwärmt wird, entsteht eine elektromotorische Kraft, deren Größe sich mit der Temperatur ändert. Verbindet man die freien Enden der beiden Drähte etwa durch Kupferdrähte mit einem Galvanometer, so wird durch dasselbe ein elektrischer Strom fließen, dessen Größe von der elektromotorischen Kraft und daher auch von der Temperatur abhängt. Das Galvanometer wird einen der Temperatur entsprechenden Ausschlag geben, der durch einen mit dem Galvanometer verbundenen Zeiger auf eine Temperaturskala übertragen wird. Für Anlaßbäder oder für Arbeiten, die Temperaturen nicht über 650° C verlangen, kann ein Thermoelement benutzt werden, bei dem der eine Draht aus Silber oder Kupfer und der andere aus Konstantan besteht. Solche Thermoelemente sind billig und können leicht ersetzt werden. Für Temperaturen bis etwa 900° C können Thermoelemente Verwendung finden, die aus den schwerer schmelzbaren unedlen Metallen bestehen. Für alle anderen Meßbereiche mit Einschluß der höchsten im Härtebetrieb erreichbaren Temperaturen sind zwei Arten von Thermoelementen im Ge-

brauch. In beiden Fällen besteht der eine Draht aus Platin, der andere aus einer Legierung von Platin und Iridium oder Platin und Rhodium. Diese beiden Arten von Thermoelementen werden dann als Platin-Iridium- oder Platin-Rhodium-Elemente bezeichnet. Die ersteren erzeugen die größere elektromotorische Kraft für jeden gegebenen Temperaturunterschied, auch sind sie etwas billiger. Jedoch neigen Platin-Iridium-Elemente dazu, brüchig zu werden, auch werden sie bei Temperaturen über  $1000^{\circ}\text{C}$  sehr leicht schadhaf. Um zu vermeiden, daß man durch dieses Verhalten der Platin-Iridium-Elemente bei der Temperaturablesung irregeführt wird, ist es notwendig, die Elemente von Zeit zu Zeit zu eichen. Die Änderungen im elektrischen Leitungswiderstand treten nach Stupakoff<sup>1)</sup> und anderen

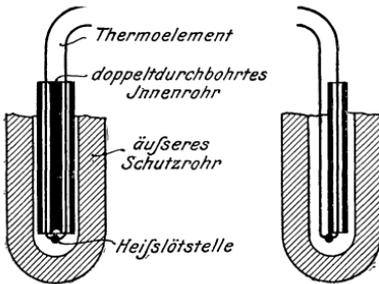


Abb. 193\*. Geschütztes Thermo-  
element.

bei ungefähr  $980^{\circ}\text{C}$  ein und sind einer teilweisen Verflüchtigung des Iridiums bei dieser Temperatur zuzuschreiben. Platin-Rhodium-Elemente können bei viel höheren Temperaturen gebraucht werden, behalten auch einen konstanten elektrischen Leitungswiderstand für längere Zeiträume und sind auch nach langem Gebrauche weniger brüchig. Alle Arten von Thermo-

elementen dürfen nicht unnötig hohen Temperaturen ausgesetzt werden.

Die Thermoelemente können durch unsachgemäße Handhabung leicht beschädigt werden. Der ungeschützte Draht darf nicht mit reduzierenden Gasen in Berührung kommen. Ein Strom von unverbranntem Leuchtgas, der auf die ungeschützten Drähte trifft, macht sie in wenigen Stunden außerordentlich brüchig. Berührung mit Eisenoxiden und einigen Silikaten ist ebenfalls sehr schädlich, und die Thermoelemente müssen natürlich, wie alle Platingegenstände, vor Berührung mit Metallen oder metallischen Dämpfen, mit denen sie sich leicht legieren, streng geschützt werden. Um ihre Wirksamkeit zu erhalten, müssen die beiden Drähte dadurch isoliert werden, daß sie durch kurze

<sup>1)</sup> Iron and Coal Trades Review 1909, S. 853.

Stückchen aus Schamotte- oder Porzellanröhren laufen, die zweckmäßig doppelt durchbohrt sind. Das unterste Rohrstück ist meist noch an dem einen Ende mit einer Vertiefung versehen, um so die wirksame Verbindungsstelle zu schützen (Abb. 193). Das ganze steckt in einem Schutzrohre aus Quarzglas (bis  $1100^{\circ}\text{C}$ ) oder Marquardtscher Masse (bis  $1300^{\circ}$ ), es kann aber auch ein Schutzrohr als Stahl benutzt werden, wenn nur Temperaturen bis  $900^{\circ}\text{C}$  in Betracht kommen. Bei Anwendung eines Stahlrohrs ist dafür Sorge zu tragen, daß die Drähte des Thermoelements an keiner Stelle das Schutzrohr berühren, weil dadurch Fehler in den Messungen hervorgerufen werden.

Es ist nicht gleichgültig, in welcher Weise ein Thermoelement in dem auf seine Temperatur zu kontrollierenden Ofen eingebaut wird. Denn in jedem Ofen, besonders von großen Abmessungen, sind, wie weiter unten auseinandergesetzt ist, die Temperaturen verschieden, und man muß daher das Thermoelement so anbringen, daß es die Temperatur an der Stelle des Ofens mißt, an welcher die zu erheizenden Gegenstände liegen. Außerdem ist darauf zu achten, daß die Öffnung, durch die das Element in den Ofen hineinragt, gut verschlossen ist, da sonst die außerhalb des Ofens liegenden Enden des Thermoelementes ebenfalls erwärmt werden, wodurch man fehlerhafte Meßergebnisse erhält. Natürlich muß der Verschluß des Schutzrohrs so angeordnet sein, daß er sich infolge der Hitze in seiner Längsrichtung verschieben kann.

Eine praktische Anordnung des Thermoelements in einem Bleibad-Härteofen zeigt Abb. 194, während Abb. 195 einen Gas-muffelofen mit Thermoelement darstellt. Letzterer ist noch besonders in Abb. 196 wiedergegeben. Die Lagerung der Verbin-

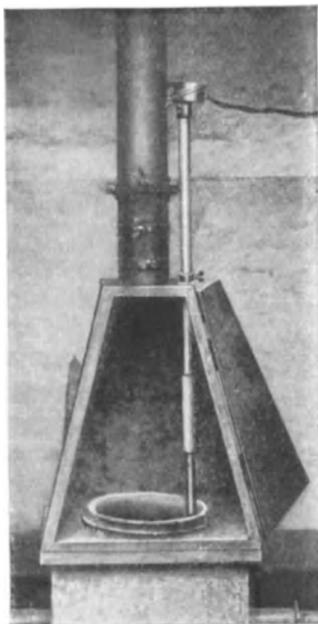


Abb. 194\*.  
Bleibadhärteofen mit eingebautem Thermoelement.

dungsstelle des Thermoelementes in dem Schutzrohr lassen die Abb. 193 und 197 erkennen.

Thermoelemente aus edlen Metallen, wie sie zum Messen von Temperaturen über  $1000^{\circ}\text{C}$  dienen, macht man in Rücksicht auf den hohen Preis so kurz wie möglich. Da aber die aus dem Ofen herausragenden Enden des Thermoelementes erwärmt werden, so wird an dem oberen Ende des Schutzrohres in unmittel-

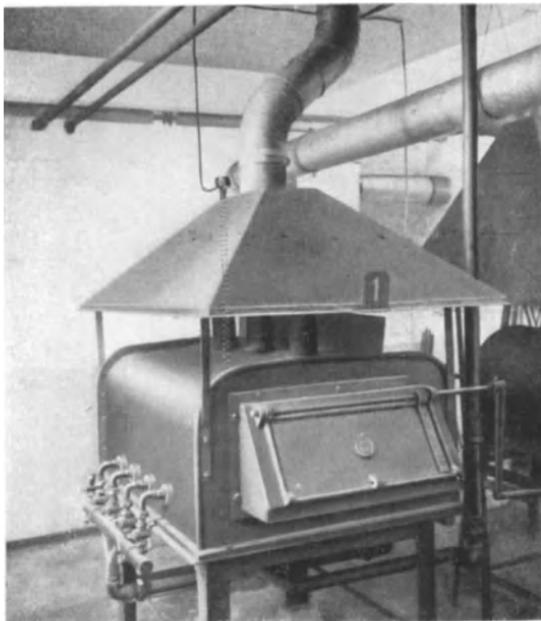


Abb. 195\*. Muffelofen mit eingebautem Thermoelement nebst Kühlgefäß.

barer Nähe der Verbindungsstelle der beiden Drahtenden mit den zum Galvanometer führenden Kupferdrähten ein Kühlgefäß angeordnet, das in unmittelbarer Verbindung mit der Wasserleitung steht (Abb. 196). Auf dem Boden des Heizraums ist gewöhnlich zum Schutze des Thermoelementes vor den zu erwärmenden Gegenständen ein Anschlag aus Schamotte angebracht (Abb. 197).

Um die unbequeme Anbringung des Kühlgefäßes zu vermeiden, verwendet man in neuerer Zeit sog. Kompensationsleitungen. Es sind dies Leitungen, die an Stelle der die Enden des Thermo-

elementes mit dem Galvanometer verbindenden Kupferleitungen treten. Sie bestehen aus unedlen Metallen (Legierungen), die gegeneinander die gleiche Thermokraft aufweisen wie die aus edlen Metallen bestehenden Drähte des Thermoelements.

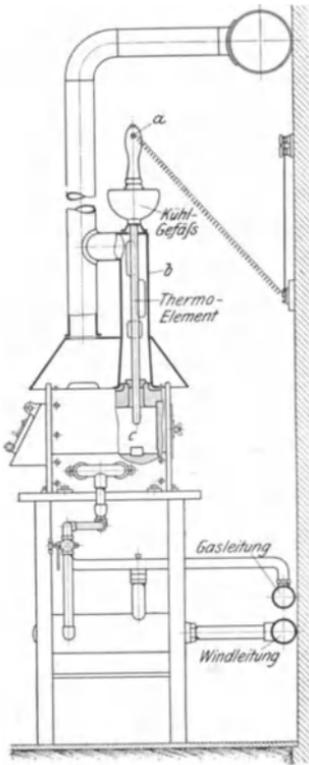


Abb. 196\*.

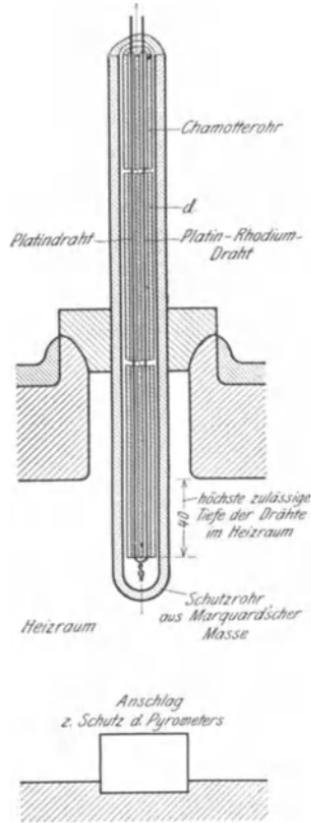


Abb. 197\*.

Für Salzhärteöfen sowie für Bleibäder eignet sich am besten das Handpyrometer von Siemens & Halske. Das knieförmig gebogene Handpyrometer (Abb. 198) besteht aus dem Eisenrohr *a*, dessen wagerechter Schenkel mit einem Holzhandgriff *b* und zwei Anschlußklemmen *cc* versehen ist. Der Handgriff ist aufklappbar und trägt Aussparungen, welche die beiden Anschlußklemmen *cc* sowie zwei zum Aufwickeln der überschüssigen Draht-

enden des Thermoelementes bestimmten Rollen  $d$  und das Eisenrohr  $a$  aufnehmen. Der senkrechte Schenkel des Eisenrohres  $a$  ist kurz unter der knieförmigen Krümmung unterbrochen, der obere Teil mit Außengewinde  $e$  und einem Vierkant, der untere Teil mit Auflagerung  $f$  versehen. Die Schnittflächen, mit denen die beiden Teile des Rohres  $a$  aufeinanderstoßen, sind nicht senkrecht, sondern schräg zur Längsrichtung des Rohres  $a$  ausgeführt. Ferner ist am unteren Ende des Rohres  $a$  oberhalb des Auflagerings  $f$

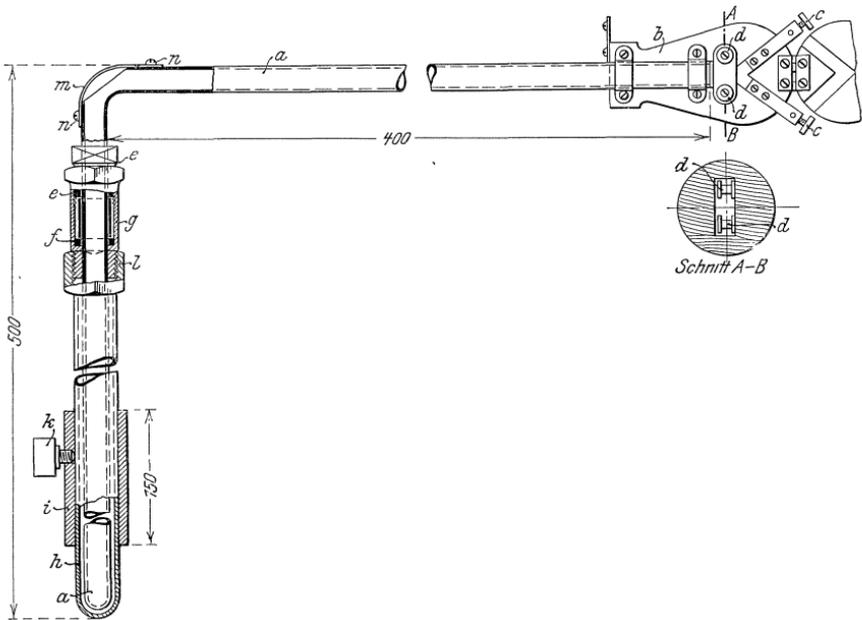


Abb. 198\*. Handpyrometer.

eine kleine Hülse vorgesehen, die die beiden abgeschragten Rohrteile aufnimmt. Die Verbindung der beiden Teile des Eisenrohres  $a$  wird durch die Überhangmutter  $g$  hergestellt. Über den senkrechten Schenkel des Eisenrohres  $a$  ist ein zweites Eisenrohr  $h$  gezogen, das auf den unteren Teil der Überhangmutter  $g$  geschraubt ist. Über dieses Außenrohr  $h$  ist eine verstellbare, leicht auswechselbare Eisenmuffe  $i$  geschoben, die mittels einer Druckschraube  $k$  nach Bedarf auf die entsprechende Eintauchtiefe eingestellt werden kann. Der untere Teil des inneren Eisenrohres  $a$  ist geschlossen und am oberen Ende mit Sechskant  $l$  zum

Aufschrauben auf die Überhangmutter *g* ausgerüstet. Im Eisenrohr *a* ist an der Außenseite der knieförmigen Krümmung eine längliche Öffnung vorgesehen, die ein Deckel *m* verschließt. Dieser Deckel *m* wird durch zwei Schrauben *nn* auf das Eisenrohr *a* aufgeschraubt. Im Inneren des Eisenrohres *a* werden die beiden Drähte des Thermo-elementes durch kurze, doppelt gebohrte Porzellanzylinder und -kugeln und an der Krümmung nur durch Porzellankugeln isoliert. Die Enden des Elementes werden je nach überschüssigem Vorrat auf die Rollen *dd* aufgewickelt und dann unter die Anschlußklemmen *cc* geklemmt.

Das Wesen dieser Anordnung besteht darin, daß einmal die das Thermoelement angreifenden Metallgase, die das Eisenrohr *h* vollständig durchdringen, durch das mit einem galvanischen Nickelüberzuge versehene Eisenrohr *a* von dem Element abgehalten werden und ferner der Abnutzung des Eisenrohres *h*, das in das Bad taucht, durch die Muffe *i* vorgebeugt wird, da erfahrungsgemäß nur die Schlacke des Bades unschädlich wirkt. Durch die Verschiebbarkeit dieses Ringes ist es möglich, diese Anordnung leicht für jeden Ofen auf die entsprechende Eintauchtiefe einzustellen.

Das Einziehen des Thermoelementes in das Handpyrometer geschieht nach einer Anweisung von Siemens & Halske folgendermaßen:

Der vernickelte Teil des Eisenrohres *a* wird zunächst vermittle der Überhangmutter *g* auf den anderen Teil des Rohres *a* geschraubt, so daß nunmehr das Rohr ein Ganzes bildet.

Nachdem etwa fünf doppelt gebohrte Porzellanzylinder abwechselnd mit je einer Kugel (bei einer Länge von 500 mm des senkrechten Schenkels des Eisenrohres *a*) über die Elementdrähte gezogen sind, so daß die Verbindungsstelle des Elementes sich in der untersten Versenkung des zuerst aufgezogenen Porzellanzylinders befindet, führt man durch die Öffnung in der knieförmigen Krümmung das Element mit den aufgereihten Porzellanzylindern und -kugeln von oben in das mittels der Überhangmutter *g* zusammengeschraubte Eisenrohr *a* ein. Die zwischen die Zylinder eingereichten Kugeln haben den Zweck, ein etwaiges Verdrillen der beiden Drähte innerhalb der sonst aufeinanderstoßenden Zylinderversenkungen zu vermeiden. Um ferner zu verhindern, daß die Verbindungsstelle des Elementes mit dem Innenrohr in Berührung kommt, was dann erfolgen könnte, wenn

dieselbe aus der Versenkung des Porzellanzylinders heraustritt, legt man, bevor man das Element einsteckt, eine Porzellankugel in das Rohr. Nun reiht man über die beiden Elementdrähte eine der Krümmung entsprechende Anzahl von Kugeln (etwa zehn Stück) und zieht die noch freien Enden der Elementdrähte von der Knieöffnung aus durch den horizontalen Schenkel des Eisenrohres *a*, so daß die Enden aus diesem Rohr herausragen. Jetzt wird die erforderliche Anzahl doppeltgebohrter Porzellanzylinder bzw. -kugeln über die Elementdrähte gezogen, so daß also im senkrechten und im wagerechten Schenkel des Rohres *a* abwechselnd Porzellanzylinder und -kugeln, in der Krümmung dagegen nur Porzellankugeln die Elementdrähte isolieren. Die aus dem Eisenrohr *a* herausragenden freien Drahtenden werden je auf eine Hartgummirolle *d* gewickelt und dann unter je eine Anschlußklemme *c* geklemmt. Zum Schluß wird das Eisenrohr *h* auf die Überhangmutter *g* geschraubt, die Eisenmuffe *i* auf das Rohr *h* geschoben und durch die Stellschraube *k* in der gewünschten Höhe festgehalten und der Deckel *m* mittels der beiden Schrauben *nn* auf das Eisenrohr *a* aufgeschraubt, nachdem man sich besonders überzeugt hat, daß die Drähte in der knieförmigen Krümmung durch das Aufreihen der einzelnen Porzellanrohre bzw. -kugeln nicht verdrillt worden sind. Werden jetzt die Anschlußklemmen *cc* mit den Zuleitungen zum Galvanometer verbunden, so ist das Handpyrometer betriebsfertig.

Soll das Handpyrometer aus irgendeinem Grunde auseinandergenommen werden, was jedoch nach Möglichkeit zu vermeiden ist, so geschieht dies auf folgende Weise:

Nachdem die überschüssigen Drahtenden des Elementes von den Rollen *dd* abgewickelt und von den Anschlußklemmen *cc* gelöst worden sind, wird der Holzgriff *b* vom Eisenrohr abgeschraubt, Nun werden die im horizontalen Schenkel des Rohres *a* hängenden Porzellanzylinder und -kugeln von den Elementdrähten aus dem Rohr *a* herabgezogen, was man durch entsprechendes Neigen des Handpyrometers leicht erreicht. Nach Abschrauben des Deckels *m* werden die Elementdrähte vorsichtig durch die Öffnung aus dem wagerechten Schenkel des Rohres *a* herausgezogen und dann das Element mit den Porzellanzylindern und -kugeln aus dem senkrechten Schenkel des Rohres *a* herausgehoben. Durch Abschrauben des Eisenrohres *h* von der Überhangmutter *g* und dieser von dem Rohre *a*, durch Abziehen der Muffe *i* vom

Rohr *h* wird das Handpyrometer in seine Einzelteile zerlegt. Falls die Überhangmutter *g* sich vom Rohr *a* schwer abschrauben läßt, so dreht man hierbei nicht an dem wagerechten, langen Schenkel des Rohres *a*, da sonst dieses in der Krümmung leicht verbogen werden kann, sondern hält das Rohr *a* an dem hierfür vorgeschobenen Vierkant fest.

Es empfiehlt sich, je nach der Betriebsdauer, von Zeit zu Zeit das Eisenrohr *a* auf den galvanischen Überzug hin zu untersuchen, was am besten alle vier Wochen geschieht. Sollte es sich bei dieser Untersuchung zeigen, daß der Überzug nicht mehr genügt, so ist das Rohr *a* zweckmäßig durch ein neu vernickeltes zu ersetzen, währenddessen das bisher verwendete frisch vernickelt wird. Hierdurch wird die Betriebssicherheit des Handpyrometers aufs sicherste gewährleistet. Bei dieser Auswechslung des Rohres *a* ist es nicht erforderlich, das ganze Handpyrometer nach der oben beschriebenen Weise auseinander zu nehmen, vielmehr genügt es, zunächst

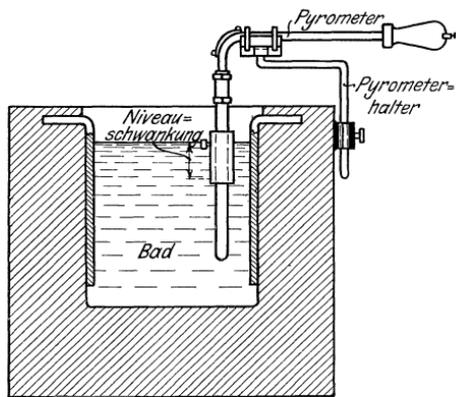


Abb. 199\*. Elektrisch geheizter Salzbadofen mit Handpyrometer.

das Außenrohr *h* von der Überhangmutter *g*, sodann diese von dem Rohre *a* abzuschrauben, um dann diese von dem auszuwechslenden Teile des Rohres *a* abzunehmen und das neue Rohr in entsprechender Weise einzusetzen. Hierbei muß jedoch darauf geachtet werden, daß das bei der Auswechslung frei aus dem festen Teile des Rohres *a* heraushängende Thermoelement vor mechanischer Beanspruchung durch Knickung oder Zerrung bewahrt wird, da sonst ein Zerreißen der Elementdrähte eintreten kann.

Eine zweckmäßige Anordnung des Handpyrometers bei einem Salzhärteofen stellt Abb. 199 dar.

Der elektrische Strom, der durch die Erwärmung der Verbindungsstelle in dem durch Kupferdrähte mit dem Thermoelement geschlossenen Stromkreis entsteht, wird auf ein Galvano-

meter (Abb. 200) übertragen, dessen Zeiger dadurch aus seiner Ruhelage abgelenkt wird. Der Zeiger bewegt sich über einer Skala, die der Einfachheit halber so eingeteilt ist, daß bei der jeweiligen Lage des Zeigers die Temperatur angezeigt wird, die die zu prüfende Wärmequelle angenommen hat.

Bei vielen jetzt gebräuchlichen Galvanometern kann nicht nur die Temperatur sofort abgelesen, sondern auch zu gleicher Zeit automatisch und fortlaufend aufgezeichnet werden. Diese sog. selbstschreibenden Galvanometer (registrierende Pyrometer,

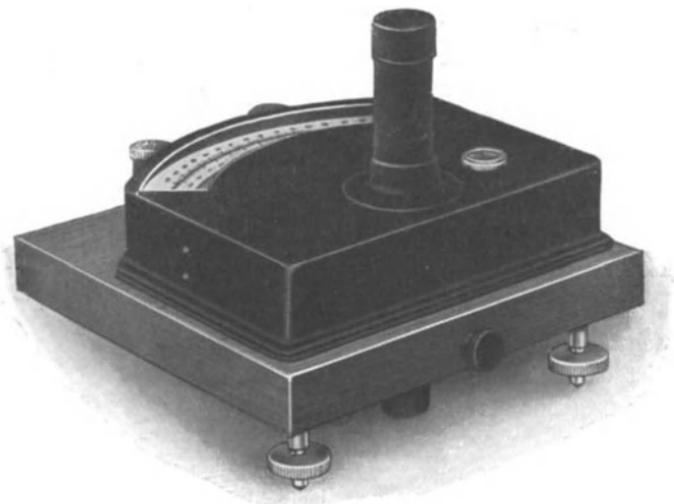


Abb. 200\*. Zeiger galvanometer.

Selbstregistrierapparate, Selbstschreiber), die sich auf die photographische Entwicklung eines Bildes stützen, sind weniger bequem als diejenigen, deren Registrierungen jedesmal sichtbar sind, nachdem sie stattgefunden haben. Das Prinzip findet bei dem Apparat von Siemens & Halske in der Weise Anwendung, daß durch ein Uhrwerk, welches einen Registrierstreifen weiterbewegt, in bestimmten Zeiträumen ein Bügel ausgelöst wird, der sich auf einen am Zeigerende angebrachten Querstift (Reiter) niedersenkt und den Stift fest auf die Unterlage aufdrückt. Um die Zeigerstellung deutlich durch einen Punkt kenntlich zu machen, wird unter dem Registrierstreifen ein Farbband oder ein Blaupapier in einer der von der Schreibmaschine her bekannten

ähnlichen Anordnung angebracht. Die einzelnen Punkte reihen sich zu einer deutlichen Kurve aneinander. Die Selbstschreiber



Abb. 201\*. Registrierendes Pyrometer (geschlossen).

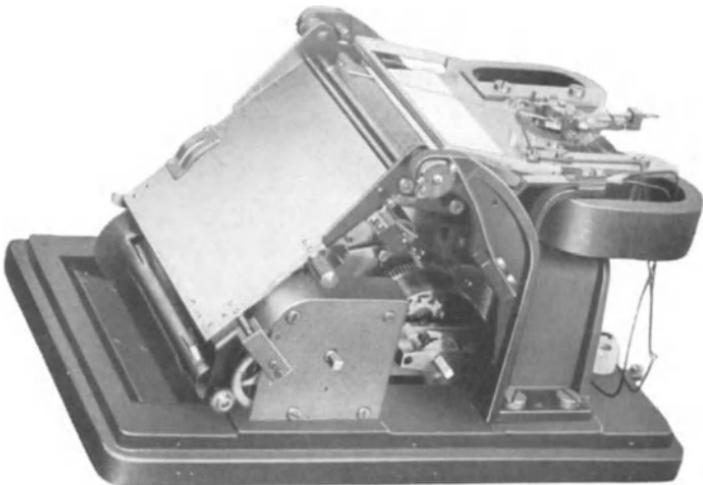


Abb. 202\*. Registrierendes Pyrometer (offen).

können auch zum gleichzeitigen Registrieren der Temperatur verschiedener Öfen mit Hilfe eines selbsttätigen Umschalters be-

nutzt werden, welcher die Enden jedes Elementes abwechselnd mit dem Registrierapparat verbindet. Von den verschiedenen Formen der jetzt in Anwendung stehenden Apparate stellen die Abb. 201 (geschlossen) und 202 (offen) einen zuverlässigen Typ dar. Bei Öfen, bei denen es auf eine stets gleichbleibende Temperatur ankommt, z. B. bei Salzbadöfen, Einsatzhärteöfen u. a., leisten diese Registrierapparate gute Dienste.

Die Verbindungsstelle eines Thermoelements, die in den Ofen hineinragt, nennt man Heißlötstelle und die beiden anderen Enden, die aus dem Ofen herausragen, und die in der Regel durch eine Kupferdrahtleitung mit den Klemmen des Galvanometers verbunden sind, heißen Kaltlötstellen. Der Strom, der auf das Galvanometer übertragen wird, hängt von dem Temperaturunterschied zwischen diesen beiden Stellen ab. Daher ist der Ausschlag des Galvanometerzeigers nicht direkt proportional der Temperatur an der Heißlötstelle, sondern nur direkt proportional dem Unterschiede in der Temperatur zwischen Heiß- und Kaltlötstelle. Wenn daher der Galvanometerzeiger  $700^{\circ}\text{C}$  anzeigt, so sind nur dann  $700^{\circ}\text{C}$  an der Heißlötstelle vorhanden, wenn die Kaltlötstelle  $0^{\circ}\text{C}$  angibt. Wenn dagegen die Kaltlötstelle  $50^{\circ}\text{C}$  anzeigt, dann sind an der Heißlötstelle etwa  $700 + 50 = 750^{\circ}\text{C}$  vorhanden. Durch das Galvanometer wird also nur dann die richtige Temperatur an der Heißlötstelle angegeben, wenn an der Kaltlötstelle immer dieselbe Temperatur vorhanden ist, und wenn bei dieser Temperatur die Skala des Galvanometers geeicht wurde.

Um jeden Irrtum zu vermeiden, der durch verschiedene Temperaturen an der Kaltlötstelle entstehen kann, ist es ratsam, das Instrument von vornherein unter praktischen Bedingungen zu eichen, d. h. mit einer Temperatur von  $25^{\circ}\text{C}$  an der Kaltlötstelle, die im allgemeinen in einem Harteraum herrschen wird. Wenn bei ständigem Gebrauch die Temperatur an der Kaltlötstelle merklich von  $25^{\circ}\text{C}$  abweicht, dann muß der Unterschied nach der Multiplikation mit 0,75 entweder addiert oder subtrahiert werden<sup>1)</sup>. Das Ergebnis wird innerhalb 2 oder 3° über einem Veränderungsbereich in den Temperaturen der Kaltlötstelle zwischen 20 und  $90^{\circ}\text{C}$  richtig sein.

---

<sup>1)</sup> Die Zahl 0,75 ist auf experimentellem Wege bestimmt worden und ist für alle Thermoelemente, die aus Platin und einer Legierung von Platin mit 10% Rhodium hergestellt sind, nahezu richtig.

Da alle Thermoelemente mehr oder weniger sich im Laufe der Zeit ändern oder zufällig zerbrochen werden können, so ist es eine große Annehmlichkeit, wenn man imstande ist, einfache Ausbesserungen sowie Eichungen an Ort und Stelle vorzunehmen. Fehler an den Registrierapparaten und Galvanometern entstehen selten und können nur von einem erfahrenen Mechaniker beseitigt werden.

Das Wiederezusammenschmelzen eines zerbrochenen Thermoelementes ist häufig notwendig. Diese Arbeit kann in wenigen Minuten ausgeführt werden. Man leitet einen Strom von komprimiertem Sauerstoff durch ein kleines Lötrohr — wie es zu Lötrohranalysen von Schürfern gebraucht wird — in die Flamme einer gewöhnlichen Spirituslampe. Der abgelenkte Teil der Flamme ist sehr heiß und reicht aus, um die beiden aneinanderstoßenden Drahtenden des Elementes zusammenzuschmelzen. Die zusammengeschmolzene Verbindungsstelle ist dann gewöhnlich kugelförmig von der Größe eines Stecknadelknopfes. Die beiden Drahtenden können auch miteinander über eine Länge von 2—3 mm verdrillt werden und die verdrillten Enden werden dann wie vorher zusammengeschmolzen. Dieses Verfahren verlangt weniger Geschicklichkeit, doch ist die Verbindungsstelle meist nicht so sauber wie eine nach dem vorigen Verfahren hergestellte Verbindungsstelle. Steht komprimierter Sauerstoff nicht zur Verfügung, so lassen sich die Drahte auch leicht im Lichtbogen einer elektrischen Bogenlampe vereinigen. Man vergesse nicht, bei dieser Arbeit die Augen durch farbige Gläser zu schützen.

Das Eichen besteht darin, daß man das Thermoelement in geschmolzene Substanzen bringt, die einen bestimmten Erstarrungspunkt besitzen und während des Abkühlens die Stellung an der Galvanometerskala beobachtet, bei welcher die Temperatur konstant bleibt, was von der Entbindung der latenten Schmelzwärme herrührt. Die zum Eichen benutzten Substanzen müssen folgende Eigenschaften besitzen:

1. Der Erstarrungspunkt muß deutlich ausgeprägt sein und mindestens so lange andauern, als notwendig ist, um bequem eine Eichung durchzuführen;
2. die Substanz darf nicht einer Oxydation unterworfen sein, auch soll sich der Erstarrungspunkt nicht ändern, wenn sie zufällig oxydiert wird;

3. der Erstarrungspunkt muß stets bei derselben Temperatur eintreten, wie oft auch immer die Eichung ausgeführt wird;
4. die Substanz darf die Schutzröhre des Thermoelementes nicht angreifen; dies gilt besonders bei eisernen Umhüllungen. Auch soll die Substanz sich ohne irgendwelche Vorsichtsmaßregel in einem eisernen Tiegel oder einem Graphittiegel auf dem Schmiedefeuer schmelzen lassen.

Zinn, Blei und Zink können leicht angewendet werden, weil sie in genügend reinem Zustande erhaltlich sind, jedoch oxydieren sie sich sehr schnell, auch sind ihre Erstarrungspunkte von  $232^{\circ}$  bzw.  $327^{\circ}$  bzw.  $419^{\circ}$  C für den gewöhnlichen Gebrauch zu niedrig. Die Erstarrungspunkte von Antimon ( $631^{\circ}$  C) und von Aluminium ( $657^{\circ}$  C) kommen den im praktischen Hartebetrieb angewendeten Temperaturen näher, doch sind diese Metalle meist nicht genügend rein, auch oxydieren sie sich leicht und werden andererseits leicht verunreinigt. Silber, das bei  $962^{\circ}$  C erstarrt, eignet sich am besten zum Eichens, doch ist es teuer. Auch Kupfer kann angewendet werden, aber sein Erstarrungspunkt ( $1084^{\circ}$  C) ist nicht immer konstant, besonders wenn es im geschmolzenen Zustande mit der Luft in Berührung kommt.

Während diese Metalle unter gewissen Vorsichtsmaßregeln beim Eichens befriedigende Ergebnisse liefern, so fallen doch die Erstarrungspunkte derjenigen, die aus praktischen Gründen angewendet werden könnten, nicht in den Temperaturbereich, der meistens bei der Wärmebehandlung der Stähle zur Anwendung kommt. Metallsalze dagegen erfüllen alle Bedingungen, die an eine geeignete Substanz zwecks Eichens gestellt werden müssen. Aus der großen Anzahl von Gemischen, die hergestellt werden können, kann eine zweckentsprechende Substanz ausgewählt werden, um für jeden gewünschten Temperaturbereich eine Eichung zu gestatten.

Der Erstarrungspunkt des gewöhnlichen Kochsalzes liegt immer zwischen  $795$  und  $800^{\circ}$  C. Dieser Stoff kann nach jeder Eichung immer wieder verwendet werden.

Die Eichung mit diesem Salz geschieht auf folgende Weise: Zunächst füllt man einen eisernen Tiegel oder einen Graphittiegel von ungefähr  $0,6$  Liter Fassungsvermögen mit dem fein gemahlten Salz an und setzt darauf den Tiegel auf einen Schmiedeherd oder erhitzt ihn auf irgend eine andere Weise, bis das Salz vollständig

geschmolzen ist. Dann taucht man die Heißlötstelle des Thermoelementes, das an ein Galvanometer angeschlossen ist, in das geschmolzene Salz und befestigt dicht an der Kaltlötstelle ein Thermometer. Sobald die Heißlötstelle des Thermoelementes die Temperatur des geschmolzenen Salzes angenommen hat, entfernt man den Tiegel vom Herde oder stellt das Heizgas ab. Jetzt beobachtet man sorgfältig den Galvanometerzeiger, der allmählich zurückgeht. Sobald das Salz zu erstarren anfängt, bleibt der Zeiger stehen, manchmal jedoch steigt er auch ein wenig an. Er geht nicht eher zurück, als bis das Salz vollständig erstarrt ist. Außerdem merkt man sich die Temperatur an der Kaltlötstelle, die von dem Thermometer angezeigt wird. Die Eichungstemperatur wird nun folgendermaßen ausgerechnet:

Thermoelement, anfangs geeicht bei . . . . .	25° C
Der Zeiger bleibt stehen auf der Skala bei . . . . .	790° C
Temperatur der Kaltlötstelle . . . . .	30° C

Es entsprechen daher 790° C am Galvanometer 800 — (30 — 25) × 0,75 = 796° C, d. h. das Thermoelement zeigt 4° C zu wenig an.

Das Salz kann in wenigen Minuten wiedergeschmolzen werden, um die Beobachtung zu wiederholen. Alsdann wird der Tiegel erkalten gelassen und das Salz für spätere Eichungen aufgehoben.

Manchmal ist es zweckmäßig, verschiedene Substanzen anzuwenden, deren Erstarrungspunkte an verschiedenen Stellen des Temperaturbereiches liegen, bei welchem das Pyrometer gebraucht wird. Solche Substanzen, die in Form von Salzmischungen garantierte Erstarrungspunkte besitzen, werden von verschiedenen Firmen in den Handel gebracht.

Beim Gebrauch sowohl von Salzgemischen als auch von anderen Substanzen für Eichungszwecke ist es unbedingt erforderlich, daß alle Spuren der Substanz von dem Thermoelement entfernt werden, bevor es in eine andere Substanz getaucht wird. Wenn Salze angewendet werden, ist es besser, das eiserne Schutzrohr abzustreifen und das Thermoelement allein in die geschmolzene Masse zu tauchen. Die Salze beschädigen das Element nicht im geringsten, bei metallischen Substanzen dagegen muß stets ein Schutzrohr angewendet werden.

Auch ein Stück Werkzeugstahl mit etwa 1,0% Kohlenstoff, dessen kritische Temperaturen bekannt sind, kann ebenfalls für Eichungszwecke benutzt werden. In das Stückchen Werkzeug-

stahl wird ein kleines Loch gebohrt, das die Heißlötstelle des Thermoelementes aufnimmt. Das Stahlstück mit dem Element wird in einen kleinen Tontiegel gebracht, der entweder auf dem Schmiedeherde oder über einer Lötlampe, jedoch immer unter denselben Bedingungen, erhitzt wird. Ein Stück Stahl, das in der angegebenen Weise vorbereitet ist, hat gegenüber den meisten anderen Substanzen, die zum Eichn von Pyrometern in Anwendung stehen, den Vorteil, daß er leicht in jeder gewünschten Menge erhältlich ist und auch leicht ersetzt werden kann. Zwar kann man nach diesem Verfahren nur eine sehr beschränkte Reihe von Temperaturen kontrollieren, für die meisten Zwecke der Wärmebehandlung der Stähle reicht es vollkommen aus.

Da dieses einfache Verfahren, die Genauigkeit des Thermoelementes zu kontrollieren, als nicht einwandfrei hingestellt worden ist, so sind die folgenden Ergebnisse von Interesse. Die Beobachtung wurde in der angegebenen Weise an einem Element von vier Personen zu verschiedenen Zeiten gemacht. Der Stillstand des Galvanometerzeigers beim Erhitzen trat ein bzw. bei  $739^{\circ}$ ,  $742^{\circ}$ ,  $741^{\circ}$  und  $743^{\circ}$  C. Mit einer Einrichtung, die besonders zur Aufnahme von Haltepunktskurven gebaut war, wurde der Haltepunkt bei  $740^{\circ}$  C gefunden.

Die Eichung von Pyrometern kann, wie besprochen wurde, mit Hilfe von Substanzen vorgenommen werden, deren Schmelzpunkte oder besser Erstarrungspunkte festliegen und die daher leicht beobachtet werden können. Es ist daher klar, daß die Temperatur eines Ofens, in welchem eine dieser Substanzen verflüssigt wird, höher ist als ihr Schmelzpunkt und daß bei zwei Substanzen, wenn eine geschmolzen ist und die andere nicht, die Temperatur des unter Beobachtung stehenden Ofens dann irgendwo zwischen diesen beiden liegen wird. Die Segerkegel ( $600$  bis  $1900^{\circ}$  C), die meist bei Brennöfen für Tonwaren angewendet werden, sind bekannte Beispiele dieser Art von Temperatur-Anzeigern. Segerkegel schmelzen jedoch nicht gänzlich, vielmehr erweichen sie allmählich und sinken bei entsprechenden Temperaturen um. Schmelzbare Metallegierungen und reine Metalle selbst sind zu ähnlichen Zwecken benutzt worden, doch ist ihre allgemein praktische Verwendbarkeit wegen der leichten Oxydierbarkeit bislang nicht eingetreten.

Auf einem ähnlichen Prinzip wie die Segerkegel beruhen die Sentinelpyrometer. Sie sind kleine Zylinder (Abb. 203) von

ungefähr 20 mm Höhe und 12 mm Durchmesser und sind in der Regel aus Metall-Salzgemischen von bestimmten Schmelzpunkten hergestellt<sup>1)</sup>.

Die Sentinel werden beim Gebrauche zweckmäßig auf ein Porzellanschälchen gestellt, dessen Form den Deckeln der Porzellantiegel ähnlich ist. Die Schälchen mit dem Sentinel ruhen auf einem kleinen feuerfesten Ziegel, wodurch es ermöglicht wird, daß sie leicht an jeden beliebigen Teil des Ofens geschoben werden können. Bei Anlaß-, Härte- und Glühöfen, die als Schacht-, Flamm- oder Muffelöfen ausgebildet sind, können die Sentinel mit Vorteil benutzt werden. Sollen z. B. eine Anzahl runder Stahlscheiben, die hernach weiter bearbeitet werden, ausgeglüht werden, so verfährt man zur Erreichung der notwendigen Glüh-temperatur von 750 bis 780° C folgendermaßen<sup>2)</sup>: Ganz in der Nähe des Rostes wird ein Sentinel aufgestellt, das bei 780° C schmilzt. Ein weiteres

Sentinel mit einem Schmelzpunkt von 750° C befindet sich hinter der ersten oder der zweiten Reihe der Scheiben.

Wenn die Scheiben eine Temperatur von 750° C erreicht haben, dann schmilzt der zweite Sentinel herunter, während der erste Sentinel so lange unversehrt bleibt, bis die Temperatur sich in den Grenzen bis 780° C bewegt. Das Ausglühverfahren ist dann richtig durchgeführt. Je nach der Bauart des Ofens können die Scheiben an eine Stelle des Ofens gebracht werden, wo sie langsam abkühlen, während die frei gewordene Stelle mit neuen Scheiben belegt wird. Sinkt die Temperatur unter 750° C, so wird die flüssige Masse des zweiten Sentinels wieder fest, ein Zeichen, daß die Temperatur im Ofen nicht auf gleicher Höhe geblieben ist. Auf diesem einfachen Wege kann die Temperatur

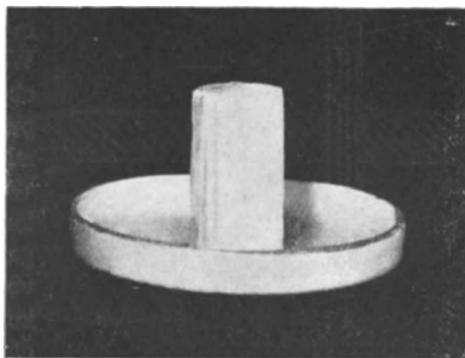


Abb. 203. Sentinelpyrometer.

1) Sentinel-Pyrometer liefert die Amalgams Company, Ltd. in Sheffield (England).

2) Stahl und Eisen 1906, S. 1466.

eines Ofens genau überwacht werden. Auch wenn ein Sentinel heruntergeschmolzen ist, so zeigt es noch jede Temperaturveränderung an. Ein zusammengesmolzenes Sentinel nimmt eine glatte, spiegelartige Oberfläche an, während die erstarrte Masse eine mit Kristallen bedeckte Oberfläche besitzt.

Auch bei Härteöfen, mit Ausnahme der Härtebäder, läßt sich das Sentinelpyrometer gut anwenden. Da diese Öfen meist eine

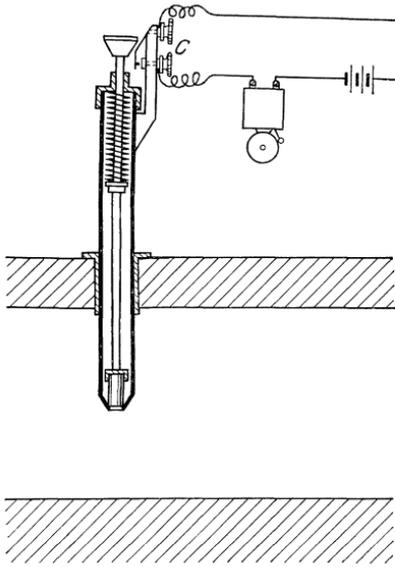


Abb. 204. Gerät für Sentinelpyrometer.

kältere und heißere Zone besitzen, so kann in der heißeren Zone das Werkstück bis über den Umwandlungspunkt erhitzt und dann in die weniger heiße Zone gebracht werden, in welcher die Temperatur des Werkstückes auf  $10-15^{\circ}\text{C}$  oberhalb des Umwandlungspunktes vor dem Abschrecken fallen kann. Soll z. B. ein Werkzeugstahl mit 1% Kohlenstoff gehärtet werden, so genügt eine Härtetemperatur von  $760^{\circ}\text{C}$ . Ist die Möglichkeit vorhanden, daß der Härteofen bei einer beständigen Temperatur gehalten wird, so kann man dessen Fläche mittels passender Sentinel so einteilen, daß die eine Zone  $770-750^{\circ}\text{C}$  und die andere vielleicht  $750$

bis  $735^{\circ}\text{C}$  umfaßt. Diese Temperaturen lassen sich mit so großer Genauigkeit feststellen, daß die eine Hälfte des Sentinels herunterschmilzt, während die andere fest bleibt. Befand sich der Gegenstand an einer zu heißen Stelle des Ofens, so wird er in die weniger heiße Zone gebracht, wo seine Temperatur bis auf die niedrigste zulässige Temperatur, bei welcher die Härtung erfolgt, fallen kann.

Um die Höchsttemperatur im Inneren eines Ausglühkastens oder in irgend einem Teile eines geschlossenen Ofens zu bestimmen, kann ein besonderes Gerät (Abb. 204) benutzt werden. Es besteht aus einem schmiedeeisernen Rohr, das an dem unteren

Ende nur teilweise geschlossen ist. Im Inneren befindet sich ein Stab, an welchem ein Sentinel befestigt werden kann, am oberen Ende dieses Stabes übt eine Feder einen Druck auf den Sentinel aus. Sobald die gewünschte Temperatur erreicht ist, schmilzt der Sentinel, der Stab fällt herab, schließt hierdurch einen elektrischen Stromkreis bei C, was durch eine elektrische Schelle angezeigt wird.

Der Temperaturbereich der Sentinelpyrometer erstreckt sich von etwa  $230 - 340^{\circ}$  C und von  $650 - 1065^{\circ}$  C. Anstatt der Sentinelzylinder benutzt man auch sog. Sentinelpaste, die dadurch erhalten wird, daß man zusammengeschmolzene Salzgemische zu einem feinen Pulver vermahlt und durch Vaseline in eine plastische Masse verwandelt. Für manche Zwecke ist diese Sentinelpaste sehr gut geeignet, wo die gewöhnlichen Pyrometerformen unzuweckmäßig sind. Im Schmiedefeuer z. B. kann ein Werkzeug auf dunkle Rotglut erhitzt und nahe an der Spitze mit einer kleinen Menge dieser Paste bestrichen werden, deren Schmelzpunkt etwa bei  $780^{\circ}$  C liegt. Das Werkzeug wird dann wieder in das Feuer gebracht und zwar so, daß der Teil mit der Paste in ein Stück Schmiedeeisen- oder Gußeisenrohr zu liegen kommt. Sobald das weiße Merkzeichen, das von der dünnen Schicht der Paste zurückgeblieben ist, schmilzt und verschwindet, hat der Stahl die gewünschte Temperatur erreicht und kann abgeschreckt werden. Auf diese Weise können kleine Werkstücke fast mit dem gleichen Genauigkeitsgrad gehartet werden wie mit der üblichen Wärmemeßausrüstung einer neuzeitlichen Härtereier.

Bei den gewöhnlichen Kohlenstoffstählen ändern sich nach Überschreiten der Umwandlungspunkte die magnetischen Eigenschaften derselben. Wird beim Erhitzen des Stahles der Haltepunkt überschritten, so verliert der Stahl seinen Magnetismus, erkaltet er wieder, so wird er wieder magnetisch, wenn der Haltepunkt erreicht ist. Von dieser Tatsache macht man des öfteren im praktischen Härtebetrieb Gebrauch, um zu erkennen, ob ein Stahlstück zum Härten genügend erhitzt worden ist. Hört z. B. bei einem Kohlenstoffstahl mit 1% Kohlenstoff, dessen Haltepunkt bei  $720^{\circ}$  C liegt, die Anziehung eines Magneten auf, so kann man sicher gehen, daß die Temperatur höher als  $720^{\circ}$  C ist. Da aber die verschiedenen Teile eines Werkstückes im allgemeinen sich nicht mit derselben Schnelligkeit bis auf denselben Betrag erwärmen, so ist es klar, daß dieses Verfahren nur bedingt richtige Ergebnisse liefern kann.

Was den Wert pyrometrischer Kontrolle von Öfen anbetrifft, die zum Ausglühen und Härten dienen, so dürfte hierüber ein Zweifel nicht bestehen. Dennoch bleiben die Schwierigkeiten in der Wärmebehandlung der Stähle ebenso groß wie vorher. Der erfahrene Härter, der nur nach seinem Auge urteilt, macht Fehler, aber auch das Pyrometer macht Fehler und während der Härter sich gewöhnlich rechtzeitig in bezug auf seine Fehler berichtigt, arbeitet das Wärmemeßgerät im Laufe der Zeit gewöhnlich immer schlechter.

Es ist nicht nötig, die verschiedenen Gründe anzuführen, weswegen ein Pyrometer ungenaue Ablesungen ergeben kann. Es ist aber wichtig, zu beachten, daß Fehler plötzlich erscheinen oder allmählich größer werden können, besonders wenn das Instrument (fälschlicherweise) als ein vollkommener und unfehlbarer Ersatz für das Auge und für die menschliche Urteilskraft betrachtet wird. In jedem Falle ist es notwendig, daß das Instrument regelmäßig geprüft und geeicht wird. Eine häufig angeführte Regel, die sowohl aus Sparsamkeitsgründen zu beachten ist als auch durch die Erfahrung gestützt wird, ist folgende:

Wende die niedrigste Temperatur an, die noch zulaßt, daß das gewünschte Ergebnis erzielt wird.

Eine nach der Beschaffung eines Pyrometers oft eintretende mühevollen Arbeit ist es, die Temperatur am äußersten Rande des Werkstückes zu messen. Dies liegt bis zu einem gewissen Grade an der Tatsache, daß Öfen an allen Stellen niemals dieselbe gleichmäßige Temperatur aufweisen. Darum kann man natürlich auch nicht das Pyrometer für Mißerfolge verantwortlich machen.

Es ist ratsam, mit einem Pyrometer zunächst an verschiedenen Stellen des Ofens die Temperatur zu bestimmen und eine Temperaturtabelle anzufertigen. Wenn dies für verschiedene Heizungs- und Beschickungsarten des Ofens durchgeführt ist, macht sich die verursachte Mühe durch die gewonnene Erfahrung wieder gut bezahlt. Die Änderungen in der Temperatur, die bei einer solchen Überwachung gefunden werden, sind mitunter sehr erheblich.

Es ist nicht zu empfehlen, ein Pyrometer zu dem Zwecke zu beschaffen, um die Tätigkeit des Härters zu kontrollieren. Denn das Pyrometer wird nur dann eine wertvolle Hilfe in der Härterei werden, wenn es der Härter nicht als Kontrollapparat seiner Tätigkeit, sondern als Kontrollapparat des Ofens ansieht.

Der Härter muß es im Gefühl haben, wo und in welcher Weise das Pyrometer zu Rate zu ziehen ist, um tatsächlich durch dasselbe das zu erreichen, was für alle Härtearbeiten das Wichtigste ist:

Erzielung einer bestimmten Temperatur an allen Stellen eines Werkstückes.

Wird dagegen das Pyrometer als eine Art Kontrolle des Härters eingeführt, dann bringt das Instrument keinen Nutzen und ein mittelmäßiger Härter ist auf Grund seiner Erfahrung einem in diesem Sinne verwendeten Pyrometer wesentlich überlegen. Je zwangloser das Pyrometer gebraucht wird, wie es die Überzeugung des Härters verlangt, um so mehr Interesse nimmt er daran, um so weniger fühlt er, daß seine Geschicklichkeit durch dasselbe überflüssig gemacht wird und um so vollkommener kann das gewünschte Ziel der richtigen Wärmebehandlung des Stahls erreicht werden. Die Kontrolle, die ein intelligenter Härter mit dem Instrument ausübt, macht ihm dasselbe lieb und wert und so gelingt es besser als auf irgend eine andere Weise, die Ofenbauart und die Art der Ofenbeheizung zu verbessern und die Temperatur der Öfen unter ständige Kontrolle zu bringen.

### **3. Die Bestimmung der Haltepunkte im Eisen und Stahl.**

Die Kenntnis der Umwandlungen im Stahl ist nach den früheren Betrachtungen für den Stahlhärter von großer Wichtigkeit, da ein Stahl nur dann durch plötzliches Abkühlen gehärtet wird, wenn seine Temperatur den kritischen Punkt überschritten hat.

Zur Bestimmung der Umwandlungspunkte im Eisen und Stahl sind verschiedene Verfahren ausgearbeitet worden. Am bequemsten ist wohl das Verfahren, nach welchem man die bei der Erhitzung und Abkühlung auftretenden Haltepunkte sofort auf einer photographischen Platte erhält.

Das Doppelspiegelgalvanometer nach Saladin, gebaut von Siemens & Halske (Abb. 205—207), eignet sich in Verbindung mit Thermoelementen vorzüglich zur Aufzeichnung von Haltepunktskurven von Eisen und Stahl. Die Bestimmung der Haltepunkte nach diesem Verfahren beruht auf der Tatsache, daß physikalische und chemische Veränderungen innerhalb eines Materials in der Regel von einer Wärmeabgabe bzw. Wärmebindung begleitet sind. Nach diesem Verfahren werden die bei

der Erhitzung oder Abkühlung auftretenden Temperaturunterschiede zwischen einem neutralen Körper, etwa Porzellan oder

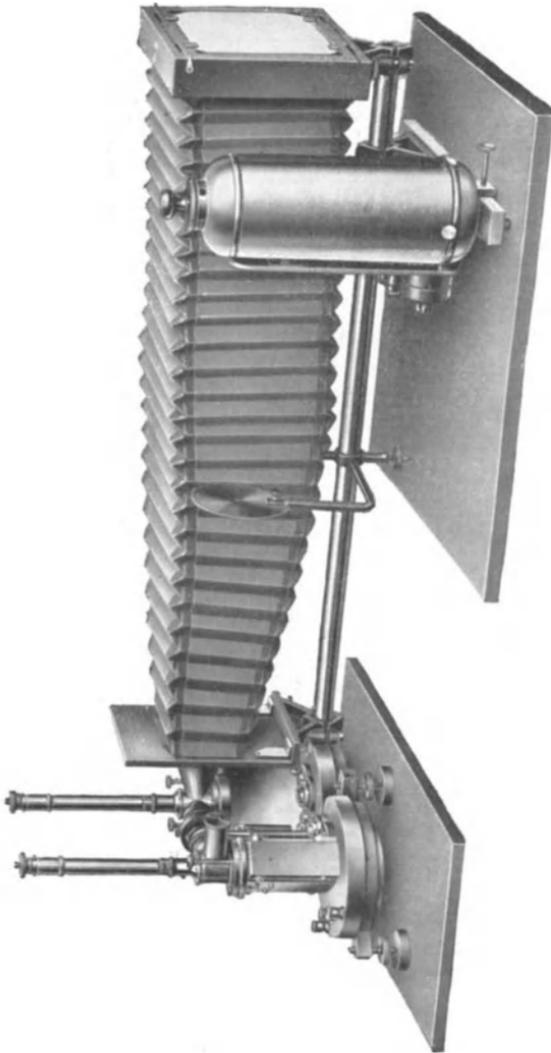


Abb. 205\*. Doppelspiegelgalvanometer nach Saladin mit Kameraanbau.  
Seitenansicht.

Platin und dem zu untersuchenden Probekörper gemessen. Im Augenblicke des Erscheinens des Haltepunktes treten zwischen den beiden Materialien Temperaturunterschiede auf, die durch ein an

ein Differential-Thermoelement angeschlossenes Spiegelgalvanometer angezeigt werden. Ein zweites Spiegelgalvanometer in Verbindung mit einem gewöhnlichen Thermoelement gibt die gerade vorhandene Temperatur des Ofens an, in dem das Probestück und der neutrale Körper erhitzt wurden.

Das Doppelspiegelgalvanometer nach Saladin (Abb. 207) besteht aus zwei durch Spiegel ( $Sp_1$  und  $Sp_2$ ) und Prisma ( $P$ ) optisch gekuppelten Drehspul-Spiegelgalvanometern, von denen

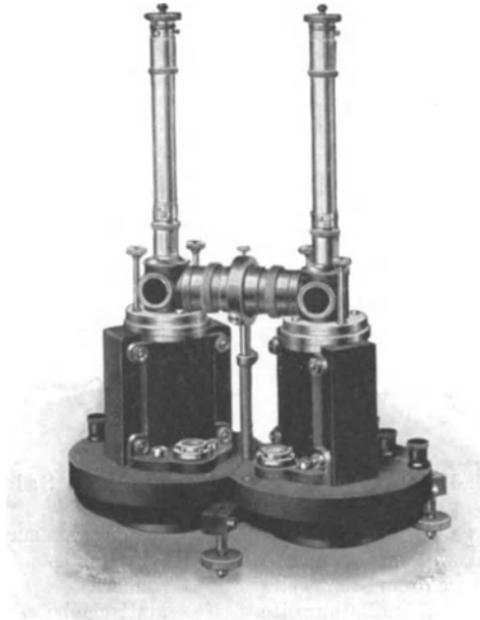


Abb. 206\*. Doppelspiegelgalvanometer nach Saladin.  
Vorderansicht.

das eine die wagerechte, das andere die senkrechte Bewegung des Lichtstrahls hervorbringt. Durch einen Kamera-Anbau ( $K$ ) kann schließlich der Lichtstrahl auf einer photographischen Platte ( $13 \times 18$  mm) festgehalten werden. Als Lichtquelle dient eine Nernstlampe ( $N$ ), die in einer Laterne ruht. Letztere besitzt einen Schieber, welcher mit zwei Diaphragmen ( $D$ ) versehen ist. Das größere Diaphragma dient zur bequemeren Beobachtung des Lichtpunktes beim Einstellen des Gerates, das kleinere wird für die photographische Fixierung benutzt. Zwischen Laterne und

Galvanometer ist eine verstellbare Blende ( $B$ ) angebracht, um bei längerer Belichtungsdauer störend auftretende Lichtreflexe zu verhüten.

Die wagerechte Bewegung, die der von der Lampe kommende und durch die Linsen  $L_1$  und  $L_2$  gehende Lichtstrahl infolge der

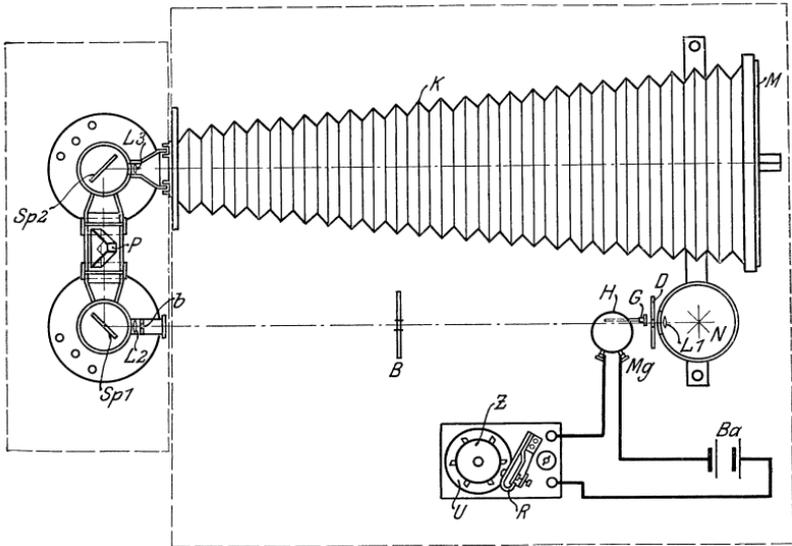


Abb. 207\*. Doppelspiegelgalvanometer nach Saladin.

$N$  = Nernstlampe

$L_1$  = Linse von etwa 3 cm Brennweite

$L_2$  = Linse von etwa 75 cm Brennweite

$L_3$  = Linse von etwa 75 cm Brennweite

$P$  = Umkehrprisma

$Sp_1$  = Galvanometerspiegel

$Sp_2$  =

$b$  = Blende (Öffnung 2 mm Durchmesser)

$B$  = Blende (Öffnung 3 mm Durchmesser)

$D$  = Diaphragma zur Erzeugung des Lichtpunktes

$K$  = Kamera

$M$  = Mattscheibe

$G$  = Gelbscheibe

$Mg$  = Elektromagnet

$R$  = Kontaktrelais

$Ba$  = Batterie

$Z$  = Kontakttrah

$U$  = Uhrwerk.

Ablenkung des zuerst von ihm getroffenen Spiegels ( $Sp_1$ ) ausführt, wird durch das zwischen die beiden Galvanometer geschaltete schräggestehende totalreflektierende Prisma ( $P$ , Umkehrprisma) in eine senkrechte verwandelt. Die Vereinigung dieses senkrechten Ausschlages mit der durch den Spiegel des zweiten Galvano-

meters hervorgebrachten wagerechten Ablenkung ergibt die photographisch zu fixierende Kurve.

Die Registrierung der Zeit, die für Haltepunktbestimmungen von Wichtigkeit sein kann, geschieht dadurch, daß in bestimmten Zeitabständen eine kleine Gelscheibe ( $G$ ), z. B. 1 Minute lang in den Weg des Lichtstrahls, d. h. zwischen Lampe und Galvanometer gebracht wird. Das Ein- und Ausrücken dieser, an einem längeren Hebelarm sitzenden Gelscheibe geschieht durch einen kleinen Elektromagneten ( $Mg$ ), dessen Erregerwicklung mit einem mechanischen Kontaktrelais ( $R$ ) und einer kleinen Akkumulatorenbatterie ( $Ba$ ) von 4 Volt in Serie geschaltet ist. Das Öffnen und Schließen des Relais ( $R$ ) wird mechanisch durch ein auswechselbares Kontaktrad ( $Z$ ) bewirkt, das durch ein Uhrwerk ( $U$ ) getrieben wird. Diejenigen Stücke der Kurve, die bei vorgeschalteter Gelscheibe gewonnen wurden, erscheinen auf der photographischen Platte schwächer und entsprechen also einem Zeitintervall von 1 Minute, während diejenigen Kurvenstücke, die bei voller Lichtstärke erhalten wurden, je nach Wahl des am Uhrwerk befindlichen Kontaktrades einem Zeitintervall von 2 bzw. 3 bzw. 4 Minuten entsprechen.

Einer Übertragung von Erschütterungen auf das Galvanometer beim Einschieben der Kassette bzw. Betätigen des Kassettenschiebers oder durch andere Störungen ist dadurch vorgebeugt, daß jegliche starre Verbindung zwischen Kamera und Galvanometer vermieden wird, wodurch außerdem eine erschütterungsfreie Aufstellung der Galvanometer auf einer besonderen Konsole oder einem Steinpfeiler ermöglicht wird. Die photographischen Aufnahmen können bei der Lichtdichtigkeit der ganzen Anordnung in unverdunkeltem Raum erfolgen. Bei längerer Belichtungsdauer empfiehlt es sich jedoch, die aufgezoogene Kassette mit einem schwarzen Tuch zu überdecken, um an dem Kassettenschieber das Eindringen von Licht zu verhindern.

Die erhaltenen Kurven zeigen infolge der eingeschalteten Blenden ( $B$  und  $b$ ) eine große Schärfe und überall gleichmäßige Deutlichkeit (siehe Abb. 20).

Bei der Aufzeichnung von Haltepunktcurven im Stahl geht man nun folgendermaßen zu Werke:

Das zu untersuchende Stahlstück von etwa 3—5 g Gewicht wird mit einer kleinen Höhlung zur Aufnahme der Heißblötstelle eines Thermoelements (Platin-Platinrhodium) versehen. Unmittel-

bar daneben legt man zwei Porzellanplättchen (Porzellan-kompensationsstücke), zwischen denen sich die Heißlötstelle eines zweiten Thermoelementes befindet (Abb. 208). Das Stahlstück nebst den beiden Porzellanplättchen kann noch mit Glimmer umlegt und das ganze durch einen dünnen Draht miteinander verbunden werden. Die Thermoelemente werden gegeneinander

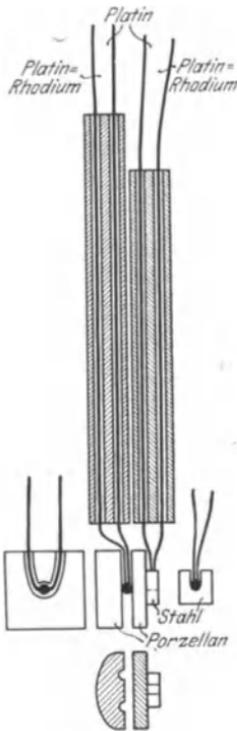


Abb. 208\*. Vorbereitete Stahlprobe.

noch durch doppelt durchbohrte Porzellanröhren vor Berührung geschützt. Alsdann bringt man das so vorbereitete Stahlstückchen in die Mitte eines nicht zu engen, etwa 6 cm weiten und 20 cm hohen Porzellanrohres. Der freie Raum wird mit einer hitzebeständigen Masse, etwa Marquardscher Masse, ausgefüllt. Das Porzellanrohr mit der Probe bringt man in einen geeigneten Ofen, am besten in einen elektrisch geheizten Röhrenofen mit Platinfoliebewicklung von Heraeus, Hanau, der so wirken soll, daß er eine gleichmäßig und langsam steigende Erwärmung bis etwa  $1200^{\circ}\text{C}$  annimmt. Abb. 209 zeigt eine Skizze dieses Ofens mit eingebautem Stahlstück. Eine sprunghafte Regulierung der Temperatur ist zu vermeiden. Der Raum zwischen dem Porzellanrohr und dem Innenrohr des Ofens kann noch mit Kieselgur ausgeschüttet werden.

Die Verbindung der Thermoelemente untereinander wird nach Abb. 210 vorgenommen. In dieser Schaltung bilden die beiden Thermoelemente zusammen das Differential-Thermoelement, dessen aus dem Ofen herausragende Enden mit Kupferdraht verbunden werden (Kaltlötstellen), die ihrerseits an die Klemmen des empfindlicheren der beiden Galvanometer (das vordere in Abb. 210) angeschlossen werden. Die Enden des im Porzellan befindlichen Thermoelementes sind an das unempfindlichere (hintere) Galvanometer angeschlossen. Die Temperatur an den Kaltlötstellen wird durch ein Thermometer gemessen.

Nachdem Thermoelement und Galvanometer in dieser Weise

miteinander verbunden sind, wird der Ofen durch Einschalten des elektrischen Stromes angeheizt. Auch die Nernstlampe wird zum Leuchten gebracht. Den von der Lampe kommenden Lichtstrahl kann man so einstellen, daß auf der Mattscheibe ( $M$  in Abb. 207) ein scharf umgrenzter Lichtkreis sichtbar wird, dessen Größe durch Auswechseln der Blenden an der Laterne für die Beobachtung und photographische Aufnahme passend geändert werden kann. Der Lichtkreis soll aus praktischen Gründen in der Mitte des einen Endes der Mattscheibe sichtbar sein. In

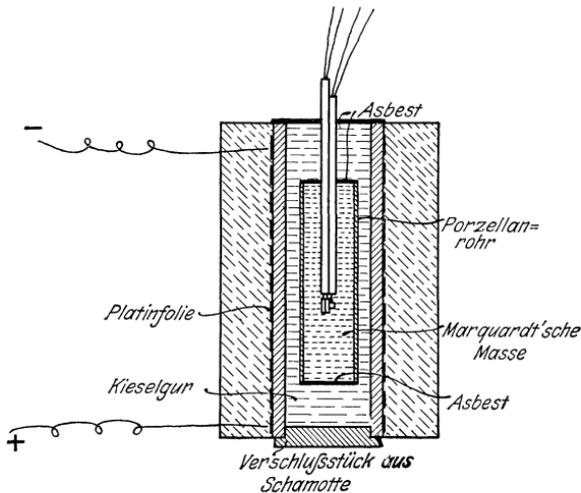


Abb 209\*. Platinfolieofen mit eingebauter Stahlprobe.

diese Lage kann der Lichtkreis durch vorsichtiges Drehen der Galvanometerköpfe gebracht werden.

Mittlerweile haben Ofen und damit auch Stahlprobe und Porzellanstückchen eine bestimmte Temperatur angenommen, und die Galvanometer werden einen gewissen auf der Mattscheibe sichtbaren Ausschlag zeigen, d. h. der Lichtkreis hat seine ursprünglich eingenommene Lage geändert, und zwar ist die Abweichung in der Wagerechten proportional der augenblicklichen Temperatur des Ofens, die Abweichung in der Senkrechten dagegen proportional dem Temperaturunterschiede zwischen Stahlprobe und Porzellan-Kompensationsstück. Ist der Einbau der Stahlprobe richtig geschehen, so wird zwar auch zunächst ein

Temperaturunterschied vorhanden sein, der jedoch bald bis auf einen kleinen Betrag sinkt. Bei falschem Einbau des Probestückes kann dieser Temperaturunterschied zwischen Stahl und Porzellan so groß werden, daß infolge des großen Ausschlages des am Differentialthermoelement liegenden Galvanometers der Lichtkreis über die Mattscheibe hinausgeht, wodurch eine Aufnahme unmöglich wird.

Im Falle der ordnungsgemäßen Durchführung des Versuchs kann man jetzt die Mattscheibe mit einer photographischen Platte vertauschen. Meist jedoch schiebt man schon im Anfang des

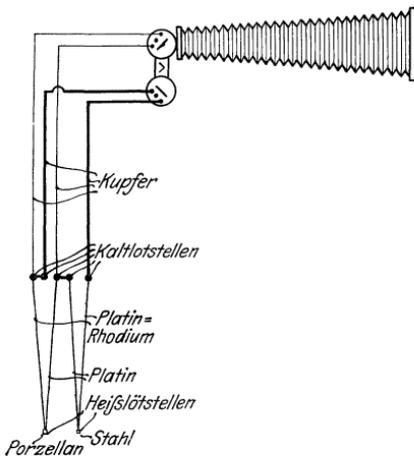


Abb. 210\*. Schaltungsschema.

Versuchs die photographische Platte ein und heizt dann erst den Ofen an. Es wird so die Erhitzungskurve des Stahls aufgezeichnet. Zweckmäßig ist es, von Zeit zu Zeit zur Beobachtung des Verlaufs des Versuchs die photographische Platte auf kurze Zeit mit der Mattscheibe auszuwechseln.

Nachdem der Ofen eine genügend hohe Temperatur angenommen hat, schaltet man den den Ofen heizenden elektrischen Strom aus. Man erhält jetzt auf der photo-

graphischen Platte die Abkühlungskurve des Stahls. Würde man nach dem Erkalten des Ofens die photographische Platte entwickeln und fixieren, so würde die zum Vorschein gekommene Kurve charakteristische Knicke, die Haltepunkte des Stahls, aufweisen.

Aus der Kurve kann man nicht ohne weiteres die Temperatur ablesen, bei welcher die Haltepunkte auftreten, da nicht bekannt ist, welcher Temperatur ein bestimmter Ausschlag der Galvanometer und damit ein bestimmter Teil der Kurve entspricht. Bevor man daher die photographische Platte entwickelt, muß erst eine Eichung in Temperaturgraden erfolgen.

Die Thermoelemente sind im allgemeinen in Millivolt geeicht. Die folgende Zahlentafel gibt die für Platin-Platinrhodiumelemente

erhaltenen Millivolt an, die für jedes Thermoelement auf einem Eichschein verzeichnet sind, z. B.:

**Zahlentafel 1.**

Temperatur der Heißlötstelle	Millivolt
300° C	2,31
400° „	3,24
500° „	4,21
600° „	5,21
700° „	6,24
800° „	7,31
900° „	8,41
1000° „	9,55
1100° „	10,72
1200° „	11,92
1300° „	13,16

Diese Zahlen sind nur dann zutreffend, wenn die Kaltlötstellen die Temperatur von 0° C besitzen. Da dies aber gewöhnlich nicht der Fall ist, sondern die Kaltlötstellen die in dem Versuchsraum befindliche Temperatur angenommen haben, so muß eine bestimmte Korrektur angebracht werden, die jedoch bei hoher Temperatur wegen ihrer Kleinheit meist vernachlässigt werden kann. Aus der folgenden Zahlentafel läßt sich die notwendige Korrektur berechnen, wenn man die Temperatur der Kaltlötstelle mit dem aus der Zahlentafel ersichtlichen Faktor multipliziert. Das so erhaltene Produkt addiert man zu der noch zu ermittelnden Temperatur, bei welcher die Haltepunkte auftraten<sup>1)</sup>.

Es ist daher noch nötig, die Galvanometer in Millivolt zu eichen. Dies kann durch eine Eichvorrichtung geschehen, die in Abb. 211 abgebildet ist und die von Siemens & Halske gebaut wird.

<sup>1)</sup> Will man dieser Korrektur aus dem Wege gehen, so muß man die Kaltlötstellen in U-förmig gebogene Glasröhren bringen, die in ein mit fein zerkleinertem Eis und Wasser beschicktes Gefäß tauchen.

## Zahlentafel 2.

Korrektur für Platin-Platinrhodiumelemente.

Am Galvanometer abgelesene Temperatur	Faktor
0	1
100	0,89
200	0,76
300	0,65
400	0,59
500	0,56
600	0,54
700	0,52
800	0,50
900	0,50
1000	0,49

Dieselbe besteht im wesentlichen aus einigen Widerständen von bekannter Größe (0,01, 0,1 und 1 Ohm), durch welche ein mit einem Milliampereometer (*i*, siehe Schaltungsschema in Abb. 212)



Abb. 211\*. Eichvorrichtung.

meßbarer elektrischer Strom, der in einer kleinen Batterie (*Ba*) erzeugt wird, fließt, dessen Größe nach Bedarf durch den Regulierwiderstand (*W*) eingestellt werden kann. Das Galvanometer legt man je nach seiner Empfindlichkeit an einen dieser bekannten

Widerstände an, z. B. an 0,01 Ohm. Auf der photographischen Platte nimmt man zunächst die Stellung des Lichtpunktes bei dem Strom Null auf, dann reguliert man durch Bewegen der Schieberwiderstände den Strom so, daß ein genügend großer Ausschlag, etwa 15 cm, auf der Mattscheibe sichtbar wird. Dieser Punkt wird ebenfalls auf der photographischen Platte festgehalten.

Aus der am Milliampereometer abgelesenen Stromstärke, dem Widerstande (0,01 Ohm) und dem Abstand der beiden Punkte auf der photographischen Platte kann man jetzt die Konstante des Instruments berechnen. Dieselbe ergibt sich für 1 Millimeter Ausschlag zu:

$$K = \frac{i \cdot w}{l}$$

wenn  $i$  der am Milliampereometer abgelesene Strom,  $w$  der bekannte Widerstand (0,01 Ohm) und  $l$  die Größe des Ausschlages in Millimetern, hier 150 Millimeter, die Entfernung der beiden Fixpunkte auf der photographischen Platte, bedeuten.

Man kann nun mit Hilfe dieser Konstante für jeden Punkt der aufgenommenen Haltepunktskurve die zugehörigen Temperaturen bestimmen.

Um z. B. die Temperaturen der in Abb. 20 dargestellten Haltepunkte zu berechnen, in welcher

also die Ordinate den Temperaturunterschieden zwischen dem Porzellanstück und der Stahlprobe, die Abszisse der Temperatur der Stahlprobe selbst entspricht, sei angenommen, daß sich bei der Eichung eine Konstante von

$$K = 0,0704 \text{ Millivolt pro Millimeter}$$

ergeben hätte.

Vom Nullpunkt (Ordinatenachse) bis zum Haltepunkte  $C$  wird an der aufgenommenen Kurve eine Entfernung von 90 Millimetern gemessen. Um diesen Ausschlag hervorzubringen, muß an den Klemmen des Galvanometers eine Spannung von

$$90 \times 0,0704 = 6,34 \text{ Millivolt}$$

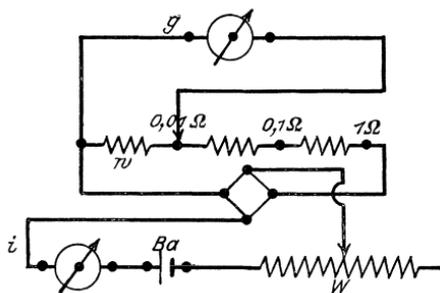


Abb. 212\*. Schaltungsschema der Eichvorrichtung.

vorhanden sein. Nach Zahlentafel 1 auf S. 245 entspricht dies nach entsprechender Interpolation einer Temperatur von

$$T = 712^{\circ} \text{ C.}$$

Da die Temperatur der Kaltlötstelle  $15^{\circ} \text{ C}$  betrug, so ist an den Wert von  $T$  noch eine Korrektur anzubringen, die sich nach Zahlentafel 2 auf Seite 246 wie folgt ergibt:

$$15 \times 0,52 = \infty 8.$$

Der Haltepunkt  $C$  liegt also bei:

$$T_C = 712^{\circ} + 8^{\circ} = 720^{\circ} \text{ C.}$$

Für den Haltepunkt  $R$  ergibt sich ebenso gerechnet:

$$T_R = 680^{\circ} \text{ C.}$$

Es empfiehlt sich, eine Anzahl so ausgerechneter Punkte in Abhängigkeit vom Ausschlage des Galvanometers in Millimetern (auf der photographischen Platte gemessen) in ein Koordinatensystem einzuzeichnen. Man kann dann für jeden beliebigen Abstand sofort ohne weitere Rechnung die zugehörigen Temperaturen ablesen. Die Dauer einer Haltepunktsbestimmung nach dem besprochenen Verfahren beträgt im allgemeinen nur zwei Stunden.

## Abhandlungen.

1. Klusmeyer: „Werkzeugstahl“. Werkstattstechnik 1910, S. 578 und 641.
2. Schäfer: „Werkzeug- und Konstruktionsstähle“. Zeitschrift für praktischen Maschinenbau 1911, S. 1771.
3. Thallner: „Verbesserter Martin- oder Tiegelstahl“. Stahl und Eisen 1899, S. 868 und 914.
4. Pattermann: „Über die Qualität des Werkzeugstahls. Praktische Winke für den Stahleinkauf“. Zeitschrift für praktischen Maschinenbau 1910, S. 1884.
5. Fuchs: „Über die Bestimmung der Stahlqualität mittels der Schmirgelscheibe“. Werkstattstechnik 1910, S. 295. — Vgl. hierüber Mars: „Die Spezialstähle“, Stuttgart 1912, S. 218.
6. Eckelt: „Die Verwechslung der Stahlsorten in der Werkstatt“. Werkstattstechnik 1910, S. 171.
7. Heyn: „Einiges über das Kleingefüge des Eisens“. Stahl und Eisen 1899, S. 709, 768 und 792.
8. Heyn: „Die Verwendbarkeit der Metallmikroskopie für die Prüfung der Werkzeugstähle“. Stahl und Eisen 1901, S. 977.
9. Heyn: „Mikroskopische Untersuchungen von Eisenlegierungen“. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfließes 1904, S. 355.
10. Leman und Werner: „Längenänderungen an gehärtetem Stahl“. Werkstattstechnik 1911, S. 453.
11. Oknoff: „Über die Volumenveränderung des Stahls beim Abschrecken“. Metallurgie 1913, (XI), S. 1.
12. Driesen: „Untersuchungen über die thermische Ausdehnung und die Lösungsgeschwindigkeit von Kohlenstoffstählen“. Ferum 1914, (XI), S. 129 und 161.
13. Hanemann und Schulz: „Formänderungen, Spannungen und Gefügeausbildung beim Härten von Stahl“. Stahl und Eisen 1914, S. 399 und 450.
14. Schulz: „Über die Volumen- und Formänderungen des Stahls beim Härten“. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1915, S. 66 und 112.
15. Mars: „Die Bestimmung der Schlackeneinschlüsse im Stahl“. Stahl und Eisen 1912, S. 1557.
16. Pacher: „Über verschiedene Arten von Schlackeneinschlüssen im Stahl“. Stahl und Eisen 1912, S. 1647.
17. Pattermann: „Über die Behandlung des Werkzeugstahls“. Zeitschrift für praktischen Maschinenbau 1910, S. 1926.

18. Simon: „Eigenschaften und Behandlung der Qualitätsstähle, insbesondere der Werkzeugstähle“. Werkstattstechnik 1912, S. 570 und 598.
19. Hippler: „Der Werkzeugstahl, seine Behandlung und Härtung“. Die Werkzeugmaschine 1915, S. 89, 113 und 132.
20. Fuchs: „Der Einfluß von Temperatur und mechanischer Arbeit beim Preßschmieden von Flußeisen und Stahl“. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1915, S. 917 und 1916, S. 244.
21. Haedicke: „Das Verderben des Stahls im Feuer“. Stahl und Eisen 1905, S. 978.
22. Busch: „Über das Härten“. Berg- und Hüttenmännische Rundschau 1906/07, (3), S. 353.
23. Longmuir: „Gehärteter Stahl“. Metallurgie 1917, S. 742.
24. Haedicke: „Le Chateliers Härteversuche“. Stahl und Eisen 1904, S. 1239, 1371 und 1905, S. 27.
25. Hanemann: „Das Gefüge des gehärteten Stahls“. Stahl und Eisen 1912, S. 1397 und 1490.
26. Hanemann: „Über die Wärmebehandlung der Stähle“. Stahl und Eisen 1911, S. 1365.
27. Heyn und Bauer: „Über den inneren Aufbau gehärteten und angelassenen Werkzeugstahls“. Stahl und Eisen 1906, S. 778, 915 und 991.
28. Maurer: „Untersuchungen über das Härten und Anlassen von Eisen und Stahl“. Metallurgie 1909, S. 33.
29. Hildebrandt: „Kunstgerechtes Härten von Werkzeugen“. Elektrotechnik und Maschinenbau 1913, Anhang S. 361.
30. Hanemann und Kühnel: „Das Verhalten gehärteter und angelassener untereutektoider Stähle“. Stahl und Eisen 1913, S. 1686.
31. „Das Härten von Werkzeugstahl“. Die Werkzeugmaschine 1915, S. 315.
32. Stribeck: „Prüfverfahren für gehärteten Stahl unter Berücksichtigung der Kugelform“. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1907, S. 1445, 1500 und 1542.
33. Thallner: „Über die Spannungen im gänzlich gehärteten Stahl“. Stahl und Eisen 1898, S. 935.
34. Thallner: „Über Spannungen im gehärteten Stahl größeren Querschnitts“. Stahl und Eisen 1899, S. 318.
35. Hildebrandt: „Härtefehler und ihre Ursachen“. Werkstattstechnik 1910, S. 636.
36. „Erhitzen von Stahl durch Elektrizität“. Werkstattstechnik 1915, S. 305.
37. „Härtefehler, ihre Ursachen und Abstellung“. Die Werkzeugmaschine 1917, S. 129.
38. „Das Härten und Anlassen des Stahls“. Stahl und Eisen 1918, S. 828.
39. „Das Anlassen von Werkzeugen“. Die Werkzeugmaschine 1918, S. 77.
40. „Wärmebehandlung von Automobilgetrieberädern“. Werkstattstechnik 1914, S. 177.
41. „Eine neue Maschine zum Härten von Kegelhädern“. Die Werkzeugmaschine 1914, S. 293.
42. Arbeitsweise bei der Herstellung von Automobilgetrieberädern“. Werkstattstechnik 1914, S. 372.
43. „Härten der Köpfe von Schmiedewerkzeugen“. Werkstattstechnik 1914, S. 365.

44. Gehärtete und vergütete Zahnräder für Werkzeugmaschinen“. Werkstattstechnik 1917, S. 324.
45. „Kupferüberzüge für teilweise Härtung von Oberflächen“. Werkstattstechnik 1917, S. 334.
46. „Härten und Anlassen von Werkzeugen für die Blechbearbeitung“. Die Werkzeugmaschine 1916, S. 165.
47. „Material für Kaliber und Kaliberringe und dessen Warmbehandlung“. Die Werkzeugmaschine 1916, S. 357.
48. „Härtung von Automobilzahnradern“. Werkstattstechnik 1913, S. 597.
49. „Härtung von Hammergesenken“. Werkstattstechnik 1913, S. 600.
50. Bauer: „Einiges über das Zementieren“. Stahl und Eisen 1904, S. 1058.
51. Ledebur: „Einiges über das Zementieren“. Stahl und Eisen 1906, S. 72, 478 und 756.
52. Bruch: „Über Zementierungsversuche mit Gas resp. mit dampfförmigen Zementierungsmitteln“. Metallurgie 1906, S. 123.
53. „Einsetzen oder Oberflächenhärtung“. Zeitschrift für Werkzeugmaschinen und Werkzeuge. 1907, S. 413.
54. Shaw Scott: „Über das Einsatzhärten“. Metallurgie 1907, S. 715.
55. Bannister u. Lambert: „Einsatzhärten von Flußeisen“. Metallurgie 1907, S. 746.
56. Giesen: „Die Einsatzhärteöfen und das Einsatzhärten“. Werkstattstechnik 1908, S. 354.
57. Grayson: „Einige neuere Untersuchungen über das Einsatzhärten“. Metallurgie 1910, S. 551. und Stahl und Eisen 1910, S. 1259.
58. Kirner: „Über einige bemerkenswerte Beobachtungen beim Einsatzhärten von Stahl, insbesondere hinsichtlich des Stickstoffs“. Metallurgie 1911, S. 72.
59. Guillet: „Über den gegenwärtigen Stand von Theorie und Praxis des Zementationsprozesses“. Stahl und Eisen 1912, S. 58 und 189.
60. Weyl: „Über Zementation im luftleeren Raum mittels reinen Kohlenstoffs“. Metallurgie 1910, S. 440 und Stahl und Eisen 1910, S. 1417.
61. Kurek: „Beiträge zur Kenntnis der Zementation des Eisens“. Stahl und Eisen 1912, S. 1780.
62. „Das Einsetzen oder Zementieren von Maschinenteilen“. Werkstattstechnik 1913, S. 310.
63. Nicholson: „Das Härten im Einsatz“. Zeitschrift für praktischen Maschinenbau 1913, S. 1357.
64. Parker: „Gehärtete Zahnräder für Werkzeugmaschinen“. Zeitschrift für praktischen Maschinenbau 1913, S. 1629.
65. Gleason: „Gehärtete Zahnräder im Werkzeugmaschinenbau“. Zeitschrift für praktischen Maschinenbau 1913, S. 1663.
66. Weiß: „Einsatzhärtung von Wellen“. Zeitschrift für praktischen Maschinenbau 1914, S. 53.
67. Schäfer: „Grundlagen für eine rationelle Einsatzhärtung“. Zeitschrift für praktischen Maschinenbau 1914, S. 159.
68. „Aus der Praxis der Einsatzhärtung“. Werkstattstechnik 1914, S. 210.
69. Sauveur und Reinhardt: „Mitteilungen über die Einsatzhärtung von Spezialstählen“. Ferrum 1913, (XI), S. 91.
70. Fettweis: „Über zwei Fehler, die häufig beim Einsatzhärten gemacht werden“. Zeitschrift für Werkzeugmaschinen und Werkzeuge 1913, S. 534.

71. „Betriebskosten der Einsatzhärtung“. Stahl und Eisen 1913, S. 1909.
72. Irmler: „Wie fertigt man Chromstahlwalzen und wie verbütet man den Fabrikations- und Härteausschuß“. Werkstattstechnik 1913, S. 491.
73. „Stahl für Schmiedegesenke“. Die Werkzeugmaschine 1916, S. 195.
74. „Chrom als Selbsthärter im Stahl“. Die Werkzeugmaschine 1916, S. 549.
75. Reiser: „Über das Wesen der Schnelldrehstähle“. Stahl und Eisen 1903, S. 131.
76. Fischer: „Über die Verwendung des Schnell- oder Rapidwerkzeugstahls“. Zeitschrift für Werkzeugmaschinen und Werkzeuge 1906, S. 87.
77. Thallner: „Die Entwicklung des Schnellarbeitsstahls in Deutschland“. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1906, S. 1690.
78. Cohn: „Schnellbetriebstähle und ihre Behandlung“. Mitteilungen des Thüringer Bezirksvereins deutscher Ingenieure 1913.
79. Fettweis: „Mikroskopische Untersuchungen einiger hochlegierter Sonderstähle“. Stahl und Eisen 1912, S. 1816.
80. Schäfer: „Über Schnelldrehstäbe“. Zeitschrift für Dampfkessel und Maschinenbetrieb 1913, S. 481 und 491.
81. Schlesinger: „Die Fortschritte deutscher Stahlwerke bei der Herstellung hochlegierter Schnellarbeitsstähle“. Stahl und Eisen 1913, S. 929, 1196, 1317, 1363 und 1403 und Werkstattstechnik 1913.
82. „Der Sheffielder Wolfram Schnelldrehstahl“. Die Werkzeugmaschine 1918, S. 145.
83. „Wärmebehandlung bearbeiteter Werkzeuge aus Schnellstahl“. Die Werkzeugmaschine 1916, S. 263.
84. „Spardrehstähle bei der nationalen Automobilgesellschaft“. Die Werkzeugmaschine 1918, S. 240.
85. Lutz: „Das Aufschweißen von Schnellstahl“. Werkstattstechnik 1916, S. 213.
86. „Merkblatt über sparsame Verwendung von Schnellstahl“. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1916, S. 762.
87. „Schnelldrehstahl, seine Behandlung und praktische Anwendung“. Die Werkzeugmaschine 1917, S. 45.
88. „Kobalt im Stahl“. Die Werkzeugmaschine 1915, S. 330.
89. Blume: „Einrichtung und Betrieb einer modernen Härterei“. Werkstattstechnik 1908, S. 231.
90. Lake: „Eine moderne Härteanlage“. Zeitschrift für praktischen Maschinenbau 1910, S. 1921.
91. Goldschmidt: „Über Härteöfen“. Stahl und Eisen 1907, S. 763.
92. Haedicke: „Neues über Härteöfen“. Stahl und Eisen 1909, S. 628 und 663.
93. Beckmann: „Platten- oder Muffelöfen?“. Werkstattstechnik 1911, S. 29.
94. Kaup: „Die Härterei der Westinghouse-Gesellschaft“. Zeitschrift für praktischen Maschinenbau 1913, S. 1269.
95. „Petroleum zum Heizen für Härte- und Glühöfen“. Werkstattstechnik 1913, S. 693.
96. „Die Ausrüstung bestehender Gas- und Glühöfen mit Ölheizung“. Werkstattstechnik 1912, S. 33.

97. „Bäder zum Härten (Abschrecken) und Anlassen von Stahl“. Werkstattstechnik 1914, S. 339.
  98. Hilse: „Wechselweiser Betrieb zweier elektrisch geheizter Salzbadöfen von einem gemeinsamen Transformator aus“. Die Werkzeugmaschine 1918, S. 279.
  99. „Die Gasfeuerung in der Industrie“. Werkstattstechnik 1915, S. 483, 503 und 540.
  100. Wenz: „Moderne Härteeinrichtungen und ihre wirtschaftliche Bedeutung“. Die Werkzeugmaschine 1916, S. 331.
  101. Witt: „Härteeinrichtungen“. Die Werkzeugmaschine 1917, S. 317 und 342.
  102. Sproecke: „Wärmetechnisches über Werkzeugstahlbehandlung“. Werkstattstechnik 1911, S. 164.
  103. Heym: „Die Bestimmung und die Kontrolle der zulässigen Temperaturgrade für Schnellstähle“. Werkstattstechnik 1910, S. 159.
  104. Brearley und Moorwood: „Sentinel-Pyrometer und ihre Anwendung auf Ausglühen, Härten und die allgemeine Wärmebehandlung der Werkzeugstähle“. Metallurgie 1907, S. 379.
  105. Rautenkranz: „Wert der Temperaturmessungen bei der Bearbeitung des Stahls unter besonderer Berücksichtigung der Qualitätstähle“. Zeitschrift für Werkzeugmaschinen und Werkzeuge 1913, S. 198 und 231.
  106. Fink: „Neuer Pyrometerschutz“. Werkstattstechnik 1915, S. 551.
  107. Hauser: „Thermoelektrische Pyrometer in Härte- und Glühanlagen“. Werkstattstechnik 1917, S. 101 und 304.
  108. Mars und Dujardin: „Anleitung zur praktischen Bestimmung der kritischen Punkte (Umwandlungspunkte)“. Düsseldorf 1913.
-

## Sachverzeichnis.

- Abbrennen 99.  
Abkühlungskurven 23.  
Allings Härtingsprobe 80.  
Alterung, künstliche 38.  
Analyse, thermische 20.  
Ambossen, Härten von 119.  
Anlassen 40, 96.  
Anlaßfarben 96.  
Anlauffarben 96.  
Ätzfiguren 5.  
Aufstreupulver 164.  
Ausglühen 67.  
Ausrichten 96.  
Austenit 32.  
Automobilstähle 98.  
Äxte 23, 101.
- B**andsägen, Härten von 88.  
Beile 62, 129.  
Berggezüge 16.  
Bessemerstahl 3.  
Besteckstanzen 16.  
Blasenräume 46, 51.  
Blasenstahl 137.  
Blasigwerden des Eisens 149.  
Blaubruch 60.  
Blaubrüchiger Zustand 130.  
Blauwärme 62.  
Blei, Anlassen in 99.  
Blei zum Härten 76, 201.  
Blister steel 134.  
Bohrer 16, 39, 104, 171, 204.  
Bohrerschäften, Anlassen von 99.  
Bohrgeräte 101.
- Brinellsche Härtezahl 74, 102.  
Bruchfläche, Aussehen der 1, 52.  
Bruchkorn 1.
- Chirurgische Instrumente 101.  
Chromnickelstähle 159, 163.  
Chromstahl 51, 81.  
Chromstähle 167, 168.
- D**ifferential-Thermoelement 242.  
Doppelkarbid 179.  
Doppelspiegelgalvanometer nach Saladin 237.  
Döpfer 110.  
Drahtseilen, Aufreißen von 135.  
Drahtzieheisen 101.  
Drehmesser 16, 36, 170, 178.  
Drehstahl 39, 101, 134.  
Drehwerkzeuge 15, 16.  
Durchschläge 104, 165.
- E**ichen der Galvanometer 245.  
— — Thermoelemente 229.  
Einbrennen 164.  
Einlagerungen, fremdartige 48.  
Eingesetzte Sägezähne 101.  
Einsatzhärtung 137.  
Eisen, schmiedbares 3.  
Elektrostahl 3.  
Elektro-Schnelldrehstahl 35, 182, 193.  
Endmaßen, Härten von 38.  
Entkohlung 91.  
Entkohlung bei Stahlguß 54.  
Erhitzungskurven 23.

- Eutektikum 6, 19, 33, 149.  
 Eutektisches Gemisch 19.  
 Eutektische Gerade 37.  
*Eutektische Stähle* 9, 39.
- Falten** 51.  
 Federhärte 88, 100.  
 Federmesser 101, 116.  
 Federn 101.  
 Feilhauermeißel 16.  
 Feilen 16, 86, 103, 204, 212.  
 Feilenangeln. Anlassen von 99.  
 Feinwerkzeuge 39.  
 Ferrit 3, 5.  
 Féry-Pyrometer 216.  
 Feste Lösung 21.  
 Flachbohrer für Messing 101.  
 Flammofen für Härtezwecke 110, 199.  
 Flußeisen 3.  
 Flußstahl 3.  
 Fräsdorne 111.  
 Fräser 15, 39, 94, 101, 113, 171, 172,  
 176, 178, 186, 214.
- Galvanometer** 225.  
 Gemisch, eutektisches 20.  
 Gerade, eutektische 39.  
 Gesenke 16, 101.  
 Geschosse 171.  
 Gesteinsbohrer 16.  
 Gewehrläufe 170.  
 Gewehrspiralbohrer 16.  
 Gewindebohrer 41, 101, 111, 171,  
 178, 198.  
 Gewindeschneidbacken 16.  
 Gewindestrehler 101.  
 Glashärte 43, 82.  
 Glasharter Stahl 131.  
 Glycerin als Härtemittel 86.  
 Graveurwerkzeuge 16.  
 Grobgefüge 1.  
 Grubenbohrer 16.  
 Grünes Feuer 54.  
 Gußnähte 50.  
 Gußstahl 3, 15.
- Haarrisse** 179.  
 Halbrundbohrer 101.  
 Haltepunkte 23.  
 — *Bestimmung der* 237.  
 Haltepunktskurven 23.  
 Hämmen 15.  
 Hämmer für Kesselschmiede 16.  
 Hammerbahnen 101.  
 Handhämmer 117.  
 Handhobeisen 101.  
 Handmeißel 16, 109, 110, 171.  
 Handpyrometer von Siemens und  
 Halske 221.  
 Handsägen 101.  
 Handstempel 165.  
 Härte 14, 16.  
 Härteanlagen 196.  
 Härtebotlich 213.  
 Härtegrad, natürlicher 15.  
 Härten bei fallender Hitze 78.  
 Härteofen mit Gasfeuerung 201.  
 Härterisse 33, 35, 96.  
 Härtespannungen 39.  
 Härtestreifungen 92.  
 Hartgußwalzen 168.  
 Härtung, überhitzte 31, 135.  
 — unterbrochene 112.  
 Härtungstemperatur, niedrigste 30.  
 Heißlötstelle 228.  
 Hobeisen 16, 62, 119.  
 Hobelmesser 101.  
 Hobelwerkzeuge 16, 101.  
 Hohleisen 101.  
 Holzbearbeitungswerkzeuge 16.  
 Holzbohrer 101.  
 Holzkohle für Härteöfen 91.  
 Holzmeißel 101.  
 Holzsägen 101.  
 Holzschniederwerkzeuge 101.  
 Hornschneiderwerkzeuge 101.
- Kaleszenzpunkt** 23, 39, 41.  
 Kaliberbolzen 41, 122, 128.  
 Kaltbearbeitung 130.  
 Kaltlötstellen 228.

- Kaltwalzen 171.  
 Kerbschlagprobe 157.  
 Kerbwerkzeuge 16.  
 Kleingefüge 2.  
 Kleingefüges, Veränderungen des 24.  
 Kohäsion 4.  
 Kohlenstoffstähle 2.  
 Koks für Härteöfen 91.  
 Kompensationsleitungen 220.  
 Korn des Stahls 1.  
 Körner 4, 16.  
 Kreissägen 17.  
 Kritische Punkte 24.  
 — Temperaturen 24.  
 Kronhämmer 16.  
 Küferwerkzeuge 101.  
 Kugellager 116, 171.  
 Kugellagerstahl 170.  
 Kugeln 40, 171.  
 Kupferkonstantan 216.  
 Kurven, thermische 24.  
  
 Laufringen, Härten von 116, 168.  
 Ledeburit 33.  
 Lederschneidmesser 101.  
 Leinöl als Härtemittel 86.  
 Leistungsfähigkeit der Werkzeuge 15.  
 Lochdorne 161, 171.  
 Lochhämmer 101.  
 Lochstempel 16.  
 Lösung, feste 20.  
 Lufthärteapparat 214.  
 Lunker 43.  
  
**M**agnete 170.  
 Magnetstahl 81.  
 Marquardtsche Masse 219.  
 Martensit 24.  
 Martensitischer Zustand 24.  
 Maßkörper 40.  
 Matrizen 160.  
 Meißel 15, 22, 46, 62, 109, 129, 171.  
 Messer, ärztliche 16.  
 Messerklingen 116.  
 Metcalfs Härtungsprobe 78.  
  
 Mineralöle als Härtemittel 86.  
 Molekularwanderung 139.  
 Muffelöfen 76, 199.  
 Mühlpicken 16, 22, 109.  
 Mushet-Stahl 170.  
  
 Nadeln 16, 101.  
 Nagelbohrer 101.  
 Naturhärte 16, 53.  
 Nickelchromstähle 74, 155.  
 Nickelstähle 125, 158, 173.  
 Niethämmer 54.  
 Nuteisen für Schweißisen 101.  
 — — Stahl 101.  
  
**O**berfläche, Aussehen der 52.  
 Oberflächenfehler 50.  
 Oberflächenhärtung 137.  
 Ofen für Einsatzhärtung 203.  
 Öl, Anlassen in 99.  
 — Härten in 86.  
 Ölbadanlassen 101.  
 Ölbadanlaßofen 100.  
 Ölöfen 199.  
 Optisches Pyrometer 213.  
 Osmondit 108.  
  
**P**apiermesser 16, 101.  
 Perlit 6.  
 — körniger 108.  
 — lamellarer 6, 108.  
 Petroleum als Härtemittel 86.  
 Pflanzenöle als Härtemittel 86.  
 Platin-Iridium-Element 218.  
 — Rhodium- „ 218.  
 Polyederstruktur 33, 179.  
 Porzellankompensationsstücke 242.  
 Poren im Stahlblock 51.  
 Prägestempel 16, 119.  
 Präzisionswerkzeuge 39.  
 Presse zum Härten 88.  
 Preßluftmeißel 16, 171.  
 Preßmatrizen 170.  
 Profilhobelmesser 101.  
 Punkte, kritische 23.  
 Pyrometer, optisches 216.

Qualität des Rohstahls 16.  
Quecksilber als Härtemittel 84.

Rachenlehren 38.  
Rapidstähle 172.  
Rasiermesser 15, 16, 116, 171.  
Regenerierter Stahl 73, 134.  
Registrierendes Pyrometer 226.  
Reibahlen 16, 39, 41, 67, 101, 104,  
111, 113, 176, 178.  
Rekaleszenzpunkt 23, 41.  
Rotglühhitze 61, 81.  
Rotglühhärtung 174.  
Rohstahls, Qualität des 15.  
Rundsägen für Metall 101.

Säbelklinge 103.  
Sägeblätter 88, 103, 171.  
Sägefeilen 171.  
Sägen für Horn und Elfenbein 101.  
Sägezähne, eingesetzte 101.  
Salzbad 76.  
Salzbadhärteöfen 202.  
Salzbadofen 202, 204.  
Salzlösungen zum Härten 83.  
Salzwasser, abkühlende Wirkung  
von 85.  
Schaber für Messing 101.  
Schalenbildung 140.  
Schärfmesser 101.  
Scheibenfräser 163.  
Schelnhämmer 16, 110, 111.  
Schermesser 16.  
Schlackeneinschlüsse 49, 125.  
Schlagarbeit 54.  
Schlagfestigkeit 62.  
Schlägel 117.  
Schleiffrisse 132, 195.  
Schlichtarbeiten 165.  
Schliffe 2.  
Schirmstangen, Härten von 88.  
Schmiedbares Eisen 3.  
Schmiedeambossen, Härten von 118.  
Schmiedefeuer 76, 194.  
Schmiedehämmer 16.

Schneidwerkzeuge für Elfenbein 101  
Schnellarbeitsstähle 172.  
Schnellaufstähle 172.  
Schnellbetriebsstähle 172.  
Schnelldrehtstähle 32, 46, 50, 61, 76,  
132, 160, 172, 214.  
Schnellschnittstähle 173.  
Schnitte 16, 160, 171, 178.  
Schraubenschneidbacken 101.  
Schraubenzieher 101.  
Schrotmeißel 15, 16, 109, 111.  
Schrupper 1, 182.  
Schwedisches Schmiedeeisen 137.  
Schwefelantimon 92.  
Schweißblech 3.  
Schweißstahl 3.  
Schwertklingen, Richten der 104.  
Schwinden 44.  
Seigerungen 125.  
Selbsthärtung 74, 171.  
Selbstschreibende Galvanometer 226.  
Selbstschreiber 226.  
Sensen 15, 16.  
Sentinel 233.  
Sentinelpaste 235.  
Sentinelpyrometer 233.  
Sicherheitsrasierklingen 88.  
Siemens-Martinstahl 3.  
Silizium-Eisenlegierung 4.  
Sonderstähle 1, 3.  
Sorbit 108.  
Spaltwerkzeuge 16.  
Spannungsrisse 96.  
Spezialstähle 1, 3.  
Spezifischen Gewichtes, Verände-  
rungen des 39.  
Spezifische Wärme 83.  
Spiralbohrer 16, 101, 104, 111, 170,  
171, 172, 176, 178, 198.  
Stahl, Erklärung von 2, 3.  
— regenerierter 73.  
— überhitzter 66.  
— verbrannter 73.  
Stahlbandhärtung 88.  
Stahlblätter, Anlassen langer 99.

- Stahldraht, Härten von 117.  
 Stähle, Einteilung der 1.  
 — eutektische 10, 37.  
 — Gefügebeschaffenheit der 1.  
 — harte 3.  
 — legierte 2.  
 — übereutektische 10, 37.  
 — untereutektische 10, 37.  
 — weiche 3.  
 Stahlguß 1, 2, 54.  
 Stahlstecherwerkzeuge 101.  
 Stahlwalzen 41, 171.  
 Stechbeitel 101, 204.  
 Stehbolzengewindebohrer 105.  
 Steinbearbeitungswerkzeuge 16.  
 Steinbohrer 16, 101.  
 Steinschneidwerkzeuge 101.  
 Stempel 16, 160, 171, 178.  
 Tabakmesser 16.  
 Temperaturen, kritische 23.  
 Temperungsverfahren 38.  
 Thermische Analyse 21.  
 — Kurven 23.  
 Thermoelemente 217.  
 Thermoelektrisches Pyrometer 217.  
 Tiegelgußstahl 3.  
 Tiegelstahl 3, 86.  
 Tischmesser 116.  
 Thomasstahl 3.  
 Troostit 108.  
 Übereutektische Stähle 9, 39.  
 Überhitzter Stahl 60.  
 Überhitzte Härtung 33, 134.  
 Überhitzung 69, 132.  
 Überkohlen 143.  
 Umwandlungspunkte 23.  
 Umwandlungszone 39.  
 Untereutektische Stähle 9, 39.  
 Vanadiumstähle 162.  
 Verbrannter Stahl 73.  
 Verdampfungsfähigkeit 83.  
 Verdampfungswärme, latente 83.  
 Verdünnter Schwefelsäure, abkühlende Wirkung von 85.  
 Vergüten 157.  
 Verlorener Kopf 43.  
 Verziehen 102.  
 Verwerfen 102.  
 Walzen, Härten von 113.  
 Walzenfräser 46, 50.  
 Wanner-Pyrometer 216.  
 Wärme, spezifische 83.  
 Wärmeleitfähigkeit 83.  
 Wärmeleitungsvermögen 83.  
 Warmmatrizen 16.  
 Warmziehmatrizen 170.  
 Weiche Haut bei Schnelldrehstählen 182.  
 Weichhäufigkeit 149.  
 Wellenzapfenbolzen 93.  
 Werkzeuge, Leistungsfähigkeit der 15.  
 Werkzeuges, Härten eines gezähnten 112.  
 Werkzeugstähle 2.  
 Widerstandspyrometer 217.  
 Wolframstähle 165.  
 Würfel, Verhalten beim Härten 40.  
 Zähflüssigkeit 83.  
 Zahnärztliche Instrumente 101.  
 Zahnräder 49, 125, 143, 159.  
 Zahnradfräser 182.  
 Zeigergalvanometer 226.  
 Zementation 138.  
 Zementierkisten 204.  
 Zementit 10.  
 Zementstahl 137.  
 Zieheisen 37, 171.  
 Zustand, martensitischer 25.  
 Zustandsdiagramm 37.

**\*Die praktische Nutzenanwendung der Prüfung des Eisens durch Ätzverfahren und mit Hilfe des Mikroskopes.**

Kurze Anleitung für Ingenieure, insbesondere Betriebsbeamte. Von Privatdozent Dr.-Ing. **E. Preuß**, Darmstadt. Mit 119 Textabbildungen. Unveränderter Neudruck. Kartoniert Preis M. 4.—

---

**\*Probenahme und Analyse von Eisen und Stahl.**

Hand- und Hilfsbuch für Eisenhütten-Laboratorien. Von Prof. Dipl.-Ing. **O. Bauer** und Dipl.-Ing. **E. Deiß** am Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde-W. Mit 128 Textabbildungen. Preis gebunden M. 9.—

---

**Lehrgang der Härtetechnik.**

Von Dipl.-Ing. **Joh. Schiefer**, Oberlehrer an den Kgl. verein. Maschinenbauschulen und den Kursen für Härtetechnik an der Gewerbeförderungsanstalt für die Rheinprovinz, unter Mitwirkung von **E. Grün**, Fachlehrer der Kurse für Härtetechnik an der Gewerbeförderungsanstalt für die Rheinprovinz. Mit 170 Textabbildungen. Preis M. 7.60, gebunden M. 9.—

---

**\*Die Praxis des Eisenhüttenchemikers.**

Anleitung zur chemischen Untersuchung des Eisens und der Eisenerze. Von Dr. **Karl Krug**, Dozent an der Bergakademie zu Berlin. Mit 31 Textabbildungen. Preis gebunden M. 6.—

---

**\*Chemische Untersuchungsmethoden für Eisenhütten und deren Nebenbetriebe.**

Eine Sammlung praktisch erprobter Arbeitsverfahren. Von Ing.-Chem. **Albert Vita** und Dr. phil. **Carl Massenez**. Mit 26 Textabbildungen. Preis gebunden M. 4.—

---

**Handbuch der Materialienkunde für den Maschinenbau.**

Von Dr.-Ing. **A. Martens**, Geh. Ober-Regierungsrat, Professor und Direktor des Materialprüfungsamtes Gr-Lichterfelde-W.

Erster Teil: Materialprüfungswesen, Probiermaschinen und Meßinstrumente. Zweite Auflage. In Vorbereitung.

\*Zweiter Teil: Die technisch wichtigen Eigenschaften der Metalle und Legierungen. Von **E. Heyn**, Etatsmäßiger Professor an der Technischen Hochschule Berlin und Direktor im Materialprüfungsamt. Hälfte A: Die wissenschaftlichen Grundlagen für das Studium der Metalle und Legierungen. Metallographie. Mit 489 Abbildungen im Text und 19 Tafeln. Preis gebunden M. 42.—

---

**\*Handbuch des Materialprüfungswesens für Maschinen- und Bauingenieure.**

Von Dipl.-Ing. **Otto Wawrziniok**, Adjunkt an der Technischen Hochschule zu Dresden. Mit 501 Textabbildungen. Preis gebunden M. 20.—

---

---

**Schneidestähle.** Von Eugen Simon. Zweite Auflage. In Vorbereitung.

---

\***Die Werkzeuge und Arbeitsverfahren der Pressen.** Völlige Neubearbeitung des Buches »Punches, dies and tools for manufacturing in presses« von Joseph V. Woodworth von Privatdozent Dr. techn. **Max Kurrein.** Mit 683 Textabbildungen und einer Tafel. Preis geb. M. 20.—

---

\***Über Dreharbeit und Werkzeugstähle.** Autorisierte Ausgabe der Schrift »On the art of cutting metals« von Fred W. Taylor. Von **A. Wallichs,** Professor an der Technischen Hochschule in Aachen. Dritter, unveränderter Abdruck. Mit 119 Textabbildungen und Tabellen. Preis gebunden M. 15.40

---

**Handbuch der Fräserei.** Kurzgefaßtes Lehr- und Nachschlagebuch für den allgemeinen Gebrauch. Gemeinverständlich bearbeitet von **Emil Jurthe** und **Otto Mietzschke,** Ingenieure. Fünfte, durchgesehene und vermehrte Auflage. In Vorbereitung.

---

**Die Dreherei und ihre Werkzeuge in der neuzeitlichen Betriebsführung.** Von Betriebs-Oberingenieur **Willy Hippler.** Mit 319 Textabbildungen. Preis M. 12.—, gebunden M. 14.60

---

\***Berichte des Versuchsfeldes für Werkzeugmaschinen an der Techn. Hochschule Berlin.** Herausgegeben von Professor Dr.-Ing. **Georg Schlesinger,** Charlottenburg.

\*Heft I: Vorbericht: Das Versuchsfeld und seine Einrichtungen. Fachbericht: Untersuchung einer Drehbank mit Riemenantrieb. Von Dr.-Ing. **G. Schlesinger,** Professor an der Technischen Hochschule Berlin. Mit 46 Textabbildungen. Preis M. 1.20

\*Heft II: Der Azetylen-Sauerstoff-Schweißbrenner, seine Wirkungsweise und seine Konstruktionsbedingungen. Von Dipl.-Ing. **Ludwig.** Mit 39 Textabbildungen. Preis M. 1.60

\*Heft III: 1. Untersuchungen an Preßluftwerkzeugen. Von Dr.-Ing. **Rudolf Harm.** Mit 38 Textabbildungen. 2. Der deutsche (metrische) Bohrkegel für Fräsdorne. Von Dr.-Ing. **G. Schlesinger,** Professor an der Technischen Hochschule Berlin. Mit 36 Textabbildungen. Preis M. 2.—

\*Heft IV: Forschung und Werkstatt. 1. Untersuchung von Spreizringkupplungen. Von Dr.-Ing. **G. Schlesinger,** Professor an der Technischen Hochschule Berlin. Mit 115 Textabbildungen. 2. Schmierölprüfung für den Betrieb. Von Dr.-Ing. **G. Schlesinger** und Dr. techn. **M. Kurrein.** Mit 29 Textabbildungen. Preis M. 2.40

---

---

**Die Werkzeugmaschinen**, ihre neuzeitliche Durchbildung und wirtschaftliche Verwendung in der Metallindustrie. Ein Lehrbuch zur Einführung in den Werkzeugmaschinenbau von **Fr. W. Hülle**, Professor an den vereinigten Maschinenbauschulen in Dortmund. Vierte, verbesserte Auflage. In Vorbereitung.

---

**Die Grundzüge der Werkzeugmaschinen und der Metallbearbeitung.** Von **Fr. W. Hülle**, Professor, Dipl.-Ing., Dortmund. Zweite, verbesserte Auflage. In Vorbereitung.

---

\* **Leitfaden der Werkzeugmaschinenkunde.** Von Prof. Dipl.-Ing. **Herm. Meyer**, Oberlehrer an den vereinigten Maschinenbauschulen zu Magdeburg. Mit 312 Textabbildungen. Preis gebunden M. 5.—

---

\* **Die Richtlinien des heutigen deutschen und amerikanischen Werkzeugmaschinenbaues.** Von Dr.-Ing. **Georg Schlesinger**, Professor an der Technischen Hochschule zu Berlin. Preis M. —.80

---

\* **Arbeitsweise der selbsttätigen Drehbänke.** Kritik und Versuche. Von Dr.-Ing. **Herbert Kienzle**. Mit 75 Textabbildungen. Preis M. 3.—

---

**Austauschbare Einzelteile im Maschinenbau.** Die technischen Grundlagen für ihre Herstellung. Von Ingenieur **Otto Neumann**, Berlin. Mit etwa 80 Abbildungen im Text. Unter der Presse.

---

\* **Die Betriebsleitung** insbesondere der Werkstätten. Von **Fred W. Taylor**. Autorisierte deutsche Ausgabe der Schrift »Shop management«. Von **A. Wallichs**, Professor an der Technischen Hochschule in Aachen. Dritte, vermehrte Auflage. Unveränderter Neudruck mit 26 Abbildungen und 2 Zahlentafeln. Preis gebunden M. 7.20

---

**Das ABC der wissenschaftlichen Betriebsführung (Taylor-System).** Von **Frank B. Gilbreth**. Freie Übersetzung von Dr. **Colin Ross**. Zweiter unveränderter Neudruck. Unter der Presse.

---

**Aus der Praxis des Taylor-Systems.** Von Dipl.-Ing. **Rudolf Seubert**. Mit 45 Abbildungen und Vordrucken. Zweiter, unveränderter Neudruck. Preis M. 9.—

---

**Die wirtschaftliche Arbeitsweise in den Werkstätten der Maschinenfabriken**, ihre Kontrolle und Einführung mit besonderer Berücksichtigung des Taylorverfahrens. Von **Adolf Lauffer**, Betriebsingenieur in Königsberg i. Pr. Preis M. 4.60

---

---

**Fabrikorganisation, Fabrikbuchführung und Selbstkostenberechnung der Firma Ludw. Loewe & Co., A.-G., Berlin.** Mit Genehmigung der Direktion zusammengestellt und erläutert von **J. Lilienthal**. Mit einem Vorwort von Dr.-Ing. **G. Schlesinger**, Professor an der Technischen Hochschule zu Berlin. Zweite, durchgesehene und vermehrte Auflage. Unveränderter Neudruck.

Preis gebunden M. 16.—

---

**\*Selbstkostenberechnung im Maschinenbau.** Zusammenstellung und kritische Beleuchtung bewährter Methoden mit praktischen Beispielen. Von Dr.-Ing. **Georg Schlesinger**, Professor an der Technischen Hochschule zu Berlin. Mit 110 Formularen.

Preis gebunden M. 10.—

---

**Einführung in die Organisation von Maschinenfabriken** unter besonderer Berücksichtigung der Selbstkostenberechnung. Von Dipl.-Ing. **Friedrich Meyenberg**, Berlin. Zweite, durchgesehene und erweiterte Auflage.

Preis gebunden M. 10.—

---

**Die Selbstkostenberechnung im Fabrikbetriebe.** Praktische Beispiele zur richtigen Erfassung der Generalunkosten bei der Selbstkostenberechnung in der Metallindustrie. Von **O. Laschinski**. Zweite, vermehrte Auflage.

Preis M. 4.—

---

**\*Der Fabrikbetrieb.** Praktische Anleitungen zur Anlage und Verwaltung von Maschinenfabriken und ähnlichen Betrieben sowie zur Kalkulation und Lohnverrechnung. Von **Albert Ballewski**. Dritte, vermehrte und verbesserte Auflage, bearbeitet von **C. M. Levin**, beratendem Ingenieur für Fabrikorganisation in Berlin. Unveränderter Neudruck.

Preis gebunden M. 7.60

---

**\*Die Betriebsbuchführung einer Werkzeugmaschinen-Fabrik.** Probleme und Lösungen. Von Dr.-Ing. **Manfred Seng**. Mit 3 Abbildungen und 41 Formularen.

Preis gebunden M. 5.—

---

**Werkstättenbuchführung für moderne Fabrikbetriebe.** Von **C. M. Lewin**, Diplom-Ingenieur. Zweite, verbesserte Auflage.

Preis gebunden M. 10.—

---

---

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

---

---

## \*Taschenbuch für den Maschinenbau

Unter Mitwirkung hervorragender Fachmänner

bearbeitet von

Ingenieur **H. Dubbel**

Berlin

Mit 2448 Textabbildungen und 4 Tafeln

Zwei Teile

In einem Bande gebunden Preis M. 16.—; in zwei Bänden Preis M. 17.—

---

---

## Hilfsbuch für den Maschinenbau für Maschinentechner sowie für den Unterricht an technischen Lehranstalten

Von

Prof. **Fr. Freytag**

Baurat, Lehrer an den technischen Staatslehranstalten in Chemnitz

Fünfte, erweiterte und verbesserte Auflage

Berichtigter Neudruck

Mit 1218 Textabbildungen, 9 Konstruktionstafeln und einer Beilage  
für Österreich

Unter der Presse

---

---

## Technisches Hilfsbuch

Von

**Schuchardt & Schütte**

Fünfte Auflage

In Vorbereitung

---

---

## Ingenieur-Kalender 1919

Herausgegeben von

Baurat Prof. **Fr. Freytag**, Chemnitz

Herausgeber des »Hilfsbuch für den Maschinenbau«

41. Jahrgang 1919. In zwei Teilen

I. Teil gebunden, II Teil geheftet: Preis M. 5.60

---

---

\*Hierzu Tenerungszuschlag

# Werkstattstechnik

Zeitschrift für Fabrikbetrieb  
und Herstellungsverfahren

Herausgegeben von

**Dr.-Ing. Georg Schlesinger**

Professor an der Technischen Hochschule Berlin

Jährlich 24 Hefte. — Preis vierteljährlich M. 3.50

Die Werkstattstechnik wendet sich an alle in der Maschinenindustrie technisch oder kaufmännisch Tätigen.

Sie bringt dem kaufmännischen Leiter und dem Bureaubeamten **Musterbeispiele aus der Fabrikorganisation** mit allen Einzelheiten der **Buchführung, Lohnberechnung, Lagerverwaltung**, sowie des **Vertriebes, der Reklame, der Montage** usw.

Dem Ingenieur und dem Techniker am **Konstruktionstisch** und im **Zeichensaal**, wie auch im Betrieb der Werkstatt, zeigt sie **neuzeitliche Fabrikationsverfahren, Neuerungen an Werkzeugmaschinen** usw., wobei sie den größten Wert auf sachliche und **klare Konstruktionszeichnungen** legt. Aus der täglichen Werkstattspraxis führt sie **Musterbeispiele, bewährte Handgriffe und Werkstattswinke** vor.

---

## \* Einzelkonstruktionen aus dem Maschinenbau

Herausgegeben von

Ingenieur **C. Volk**, Berlin

- \* **Erstes Heft: Die Zylinder ortsfester Dampfmaschinen.** Von Oberingenieur **H. Frey**, Berlin. Mit 109 Textfiguren. Preis M. 2.40
  - \* **Zweites Heft: Kolben.** I. Dampfmaschinen- und Gebläsekolben. Von Ingenieur **C. Volk**, Berlin. II. Gasmaschinen- und Pumpenkolben. Von **A. Eckhardt**, Betriebsingenieur der Gasmotorenfabrik Deutz. Mit 247 Textfiguren. Preis M. 4.—
  - \* **Drittes Heft: Zahnräder.** I. Teil. Stirn- und Kegelräder mit geraden Zähnen. Von Dr. **A. Schiebel**, a. o. Professor der deutschen technischen Hochschule zu Prag. Mit 110 Textfiguren. Preis M. 3.—
  - \* **Viertes Heft: Die Kugellager** und ihre Verwendung im Maschinenbau. Von **Werner Ahrens**, Winterthur. Mit 134 Textfiguren. Preis M. 4.40
  - \* **Fünftes Heft: Zahnräder.** II. Teil. Räder mit schrägen Zähnen (Räder mit Schraubenzähnen und Schneckengetriebe). Von Dr. **A. Schiebel**, a. o. Professor der deutschen technischen Hochschule zu Prag. Mit 116 Textfiguren. Preis M. 4.—
  - \* **Sechstes Heft: Schubstangen und Kreuzköpfe.** Von Oberingenieur **H. Frey**, Waidmannslust bei Berlin. Mit 117 Textfiguren. Preis M. 1.60
- 
- 

\*Hierzu Teuerungszuschlag